

Organizador
Edilson Antonio Catapan

AS DIFERENTES DIMENSÕES LIGADAS ÀS CIÊNCIAS EXATAS

VOL. 02

São José dos Pinhais
BRAZILIAN JOURNALS PUBLICAÇÕES DE PERIÓDICOS E EDITORA
2020



Edilson Antonio Catapan

(Organizador)

As diferentes dimensões ligadas às ciências exatas

Vol. 02

Brazilian Journals Editora
2020

2020 by Brazilian Journals Editora
Copyright © Brazilian Journals Editora
Copyright do Texto © 2020 Os Autores
Copyright da Edição © 2020 Brazilian Journals Editora
Editora Executiva: Barbara Luzia Sartor Bonfim Catapan
Diagramação: Lorena Fernandes Simoni
Edição de Arte: Lorena Fernandes Simoni
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial:

Prof^a. Dr^a. Fátima Cibele Soares - Universidade Federal do Pampa, Brasil
Prof. Dr. Gilson Silva Filho - Centro Universitário São Camilo, Brasil
Prof. Msc. Júlio Nonato Silva Nascimento - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Brasil
Prof^a. Msc. Adriana Karin Goelzer Leining - Universidade Federal do Paraná, Brasil
Prof. Msc. Ricardo Sérgio da Silva - Universidade Federal de Pernambuco, Brasil
Prof. Esp. Haroldo Wilson da Silva - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil
Prof. Dr. Orlando Silvestre Fragata - Universidade Fernando Pessoa, Portugal
Prof. Dr. Orlando Ramos do Nascimento Júnior - Universidade Estadual de Alagoas, Brasil
Prof^a. Dr^a. Angela Maria Pires Caniato - Universidade Estadual de Maringá, Brasil
Prof^a. Dr^a. Genira Carneiro de Araujo - Universidade do Estado da Bahia, Brasil
Prof. Dr. José Arilson de Souza - Universidade Federal de Rondônia, Brasil
Prof^a. Msc. Maria Elena Nascimento de Lima - Universidade do Estado do Pará, Brasil
Prof. Caio Henrique Ungarato Fiorese - Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil
Prof^a. Dr^a. Silvana Saionara Gollo - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Brasil
Prof^a. Dr^a. Mariza Ferreira da Silva - Universidade Federal do Paraná, Brasil
Prof. Msc. Daniel Molina Botache - Universidad del Tolima, Colômbia
Prof. Dr. Armando Carlos de Pina Filho- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Roraima, Brasil
Prof^a. Msc. Juliana Barbosa de Faria - Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil
Prof^a. Esp. Marília Emanuela Ferreira de Jesus - Universidade Federal da Bahia, Brasil
Prof. Msc. Jadson Justi - Universidade Federal do Amazonas, Brasil
Prof^a. Dr^a. Alexandra Ferronato Beatrici - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Brasil
Prof^a. Msc. Caroline Gomes Mâcedo - Universidade Federal do Pará, Brasil
Prof. Dr. Dilson Henrique Ramos Evangelista - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Brasil
Prof. Dr. Edmilson Cesar Bortoletto - Universidade Estadual de Maringá, Brasil
Prof. Msc. Raphael Magalhães Hoed - Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Brasil
Prof^a. Msc. Eulália Cristina Costa de Carvalho - Universidade Federal do Maranhão, Brasil
Prof. Msc. Fabiano Roberto Santos de Lima - Centro Universitário Geraldo di Biase, Brasil

Prof^a. Dr^a. Gabrielle de Souza Rocha - Universidade Federal Fluminense, Brasil
Prof. Dr. Helder Antônio da Silva, Instituto Federal de Educação do Sudeste de Minas Gerais, Brasil
Prof^a. Esp. Lida Graciela Valenzuela de Brull - Universidad Nacional de Pilar, Paraguai
Prof^a. Dr^a. Jane Marlei Boeira - Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Brasil
Prof^a. Dr^a. Carolina de Castro Nadaf Leal - Universidade Estácio de Sá, Brasil
Prof. Dr. Carlos Alberto Mendes Morais - Universidade do Vale do Rio do Sino, Brasil
Prof. Dr. Richard Silva Martins - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul Rio Grandense, Brasil
Prof^a. Dr^a. Ana Lídia Tonani Tolfo - Centro Universitário de Rio Preto, Brasil
Prof. Dr. André Luís Ribeiro Lacerda - Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil
Prof. Dr. Wagner Corsino Enedino - Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil
Prof^a. Msc. Scheila Daiana Severo Hollveg - Universidade Franciscana, Brasil

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C357a Catapan, Edilson Antonio

As diferentes dimensões ligadas às ciências exatas /
Edilson Antonio Catapan. São José dos Pinhais: Editora
Brazilian Journals, 2020.
283 p.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui: bibliografia

ISBN: 978-65-86230-17-8

1. Ciências. 2. Exatas

I. Catapan, Edilson Antonio II. Título

APRESENTAÇÃO

A obra intitulada “As diferentes dimensões ligadas às ciências exatas, vol 02”, publicada pela Brazilian Journals, apresentam um conjunto de vinte capítulos que visam abordar assuntos ligados à área das ciências exatas. A seguir são apresentados os estudos que compõem os capítulos deste livro.

Logo, os artigos apresentados neste volume abordam: usina autossustentável de incineração de lixo dispensável pela reciclagem: estudo de viabilidade para a cidade de Belo Horizonte; desenvolvimento de um sistema de informação geográfica Web (SIG Web) para a área de saneamento básico utilizando tecnologias livres; modelamento não linear de dois elos de um robô de três graus de liberdade; produção de biocompostos a partir de célula combustível microbiológica; estudo da reação photocatalítica na degradação de compostos fenólicos em efluente; oficina temática: obtenção e aplicação de corantes naturais no cotidiano; “weeping angel” : biblioteca *cross plataform* de baixo custo para detecção de atenção em dispositivos móveis, entre outros.

Dessa forma, agradecemos aos autores por todo esforço e dedicação que contribuíram para a construção dessa obra, e esperamos que este livro possa colaborar para a discussão e entendimento de temas relevantes para a área de administração, orientando docentes, estudantes, gestores e pesquisadores à reflexão sobre os assuntos aqui apresentados.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 01 1

AGRICULTURAL DIGITALISATION AND DIGITAL TRANSFORMATION: THE FUTURE OF AGRICULTURAL COMPETITIVE EXCELLENCE IN THE 4.0 ENVIRONMENT.

Renata de Souza França
Fabrício Ziviani
Cristiana Fernandes de Muylder
DOI 10.35587/brj.ed.0000368

CAPÍTULO 02 23

USINA AUTOSSUSTENTÁVEL DE INCINERAÇÃO DE LIXO DISPENSÁVEL PELA RECICLAGEM: ESTUDO DE VIABILIDADE PARA A CIDADE DE BELO HORIZONTE.

Bruna Araújo Souza
Walliston dos Santos Fernandes
Larissa Camilo de Souza Lima e Silva
José Ronaldo Tavares Santos
Gustavo Vinícius Duarte Barbosa
Inara Kellen Fonseca
Natália Tavares Santos
Gustavo Rodrigues Coimbra
DOI 10.35587/brj.ed.0000369

CAPÍTULO 03 34

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE MÉTODOS SEMIEMPÍRICOS DE PREVISÃO DE CAPACIDADE DE CARGA GEOTÉCNICA APLICADOS A ESTACAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO ASSENTES EM ARGILA ARENOSA.

Armando Belato Pereira
Thiago Bomjardim Porto
Romero César Gomes
Raphael Lúcio Reis dos Santos
João Marcos Guimarães Rabelo
DOI 10.35587/brj.ed.0000370

CAPÍTULO 04 67

QUANTIFICAÇÃO TEÓRICA E EXPERIMENTAL DO BIOGÁS PRODUZIDO DURANTE A REMOÇÃO ANAERÓBIA DE MATÉRIA ORGÂNICA DE EFLUENTE DOMÉSTICO.

Talita Lorena da Silva do Nascimento
Vítor Pinheiro Ferreira
DOI 10.35587/brj.ed.0000371

CAPÍTULO 05 90

ANALISE DA INFLUÊNCIA NA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA DA ÁGUA DE EMASSAMENTO NA DOSAGEM DO CONCRETO.

Laecio Guedes do Nascimento
Samuel Campelo Dias
Laura Caroline Fontes Brito
Juliana Osternes Veloso
Aurélio Miguel Costa da Fonseca
Rebeka Manuela Lobo Sousa
Sávio Torres Melo
Aleff Oliveira Coelho Moura
DOI 10.35587/brj.ed.0000372

CAPÍTULO 06 106

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA WEB (SIG WEB) PARA A ÁREA DE SANEAMENTO BÁSICO UTILIZANDO TECNOLOGIAS LIVRES.

Helder Guimarães Aragão
DOI 10.35587/brj.ed.0000373

CAPÍTULO 07 113

PRÉ-ALGORITMOS - AÇÕES DE APOIO À MELHORIA DO ENSINO DE GRADUAÇÃO.

Reudismam Rolim de Sousa
Felipe Torres Leite
Ádller de Oliveira Guimarães
Assunaueny Rodrigues de Oliveira
DOI 10.35587/brj.ed.0000374

CAPÍTULO 08 126

IMPRESSÃO 3D: FERRAMENTA DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA PARA ELABORAÇÃO DE METODOLOGIAS E KITS DIDÁTICOS RELACIONADOS À EDUCAÇÃO.

Gustavo Felipe Pavan
Eduardo Luiz Todero
Ana Júlia Barros Delfim
Guilherme Eduardo Tomé
Robinson Joel Tem-caten
Samuel Henrique Franz
Arthur Fuzinatto
Ênio dos Santos Silva
Gustavo Cunha Guedes
Almir dos Santos Albuquerque
Rogério Cid Bastos
DOI 10.35587/brj.ed.0000375

CAPÍTULO 09 136

MODELAMENTO NÃO LINEAR DE DOIS ELOS DE UM ROBÔ DE TRÊS GRAUS DE LIBERDADE.

José Antonio Riul
Paulo Henrique Montenegro

Naor Moraes Melo
DOI 10.35587/brj.ed.0000376

CAPÍTULO 10 148

DESENVOLVIMENTO DE BIODIGESTORES ANAERÓBIOS COM SISTEMA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO PARA A PRODUÇÃO DE BIOGÁS UTILIZANDO RESÍDUO ALIMENTAR E ESGOTO.

Claudinei de Souza Guimarães
David Rodrigues da Silva Maia
DOI 10.35587/brj.ed.0000377

CAPÍTULO 11 166

ESTUDO SOBRE VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DO LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS COMO INSUMO NA ENGENHARIA CIVIL.

Ismael Vanio Agostinho Santana
DOI 10.35587/brj.ed.0000378

CAPÍTULO 12 173

PRODUÇÃO DE BIOCOPPOSTOS A PARTIR DE CÉLULA COMBUSTÍVEL MICROBIOLÓGICA.

Liziane Nunes da Costa
Ricardo Pereira Branco
Taiana Denardi de Souza
Christiane Saraiva Ogrodowski
DOI 10.35587/brj.ed.0000379

CAPÍTULO 13 181

MULTIVARIATE SELECTION OF NUTRIENT PARAMETERS IN SUBMERGED CULTURE OF *KLUYVEROMYCES MARXIANUS* FOR BIOSURFACTANT PRODUCTION.

Claudia Eugênia Castro Bravo
Regiane Strapazzon
Roberta Castro Martins
Adir Silvério Cembranel
Ellen Porto Pinto
DOI 10.35587/brj.ed.0000380

CAPÍTULO 14 194

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA EXTERNA NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR CÉLULA COMBUSTÍVEL MICROBIOLÓGICA.

Ricardo Pereira Branco
Patrick Laux
Liziane Nunes da Costa
Taiana Denardi de Souza
Christiane Saraiva Ogrodowski
DOI 10.35587/brj.ed.0000381

CAPÍTULO 15 202

ESTUDO DA REAÇÃO FOTOCATALÍTICA NA DEGRADAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS EM EFLUENTE.

Andressa Michaelsen

Patrick Laux

Taiana Denardi de Souza

Christiane Saraiva Ogrodowski

DOI 10.35587/brj.ed.0000382

CAPÍTULO 16 212

ANALISÉS FÍSICO-QUÍMICAS NA CARACTERIZAÇÃO DE BEBIDAS ISOTÔNICAS E CARBOIDRATADAS EM BELO HORIZONTE-MG.

Yuri Mello Müller de Oliveira

Liseane Padilha Thives

Gabriela Ceccon Carlesso

Allan Monteiro Silva

DOI 10.35587/brj.ed.0000383

CAPÍTULO 17 232

ANALISÉS FÍSICO-QUÍMICAS NA CARACTERIZAÇÃO DE BEBIDAS ISOTÔNICAS E CARBOIDRATADAS EM BELO HORIZONTE-MG.

Letícia Fraga Ferreira

Ana Clara Manini Soutelo

Ana Maria de Resende Machado

Fátima de Cássia Oliveira Gomes

Flávia Regina de Amorim

Anderson Arthur Rabello

DOI 10.35587/brj.ed.0000384

CAPÍTULO 18 248

OFICINA TEMÁTICA: OBTENÇÃO E APLICAÇÃO DE CORANTES NATURAIS NO COTIDIANO.

Onofre Vargas Júnior

Karla Nara da Costa Abrantes

Karla Soares Matias

Kesley dos Santos Ribeiro

DOI 10.35587/brj.ed.0000385

CAPÍTULO 19 260

ANALISÉS FÍSICO-QUÍMICAS NA CARACTERIZAÇÃO DE BEBIDAS ISOTÔNICAS E CARBOIDRATADAS EM BELO HORIZONTE-MG.

Letícia Fraga Ferreira

Jéssica Saliba

Ana Maria de Resende Machado

Fátima de Cássia Oliveira Gomes

DOI 10.35587/brj.ed.0000386

CAPÍTULO 20 274

"WEEPING ANGEL": BIBLIOTECA CROSS PLATAFORMA DE BAIXO CUSTO PARA DETECÇÃO DE ATENÇÃO EM DISPOSITIVOS MÓVEIS.

Alano Matins Pinto
Yuri Lenon Barbosa Nogueira
DOI 10.35587/brj.ed.0000387

SOBRE O ORGANIZADOR.....283

CAPÍTULO 01

AGRICULTURAL DIGITALISATION AND DIGITAL TRANSFORMATION: THE FUTURE OF AGRICULTURAL COMPETITIVE EXCELLENCE IN THE 4.0 ENVIRONMENT

Renata de Souza França

Doutora em Sistemas de Informação e Gestão do Conhecimento

Instituição: Universidade Fumec.

Endereço: R: Cobre, 200 - Cruzeiro, Belo Horizonte - MG, 30310-190

E-mail: profrenatafranca@gmail.com

Fabrício Ziviani

Doutor em Ciência da Informação pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Instituição: Universidade Fumec - Universidade do Estado de Minas Gerais e

Fundação Dom Cabral.

Endereço: R: Cobre, 200 - Cruzeiro, Belo Horizonte - MG, 30310-190

E-mail: contato@fabricioziviani.com.br

Cristiana Fernandes de Muylder

Doutora em Economia Aplicada pela Universidade Federal de Viçosa.

Instituição: Universidade Fumec.

Endereço: R: Cobre, 200 - Cruzeiro, Belo Horizonte - MG, 30310-190

E-mail: cristiana.muylder@fumec.br

ABSTRACT: Agriculture is a knowledge-rich sector that travels along paths of development and reaches the digital age. The objective of this article is to propose a model for competitive excellence in the 4.0 scenario of agriculture while considering the pillars of Digital Agriculture and Digital Transformation that have emerged in the literature. Through qualitative research, articles that contemplate the themes that were present in the bases Scopus, Embrapa and Capes were recovered and analyzed. In the end, it was identified that the elements: legal- political environment, strategic planning, digital transformation roadmap, and digital agricultural transformation, are important for agricultural excellence and the implementation of Agriculture 4.0.

KEYWORDS: Agriculture; Digital Agriculture; Agriculture 4.0; Digital Transformation; Agricultural Excellence.

RESUMO: A agricultura é um setor rico em conhecimento que perpassa por caminhos de desenvolvimento e chega a era digital. Esse artigo tem por objetivo propor um modelo para excelência competitiva da Agricultura, no cenário 4.0, considerando os pilares da Agricultura Digital e Transformação Digital, emergidos pela literatura. Por meio de uma pesquisa qualitativa, artigos que contemplam as temáticas e que se encontravam presentes nas bases Scopus, Embrapa e Capes foram recuperados e analisados. Ao final, identificou- se que os elementos: ambiente político legal, planejamento estratégico, roteiro de transformação digital e transformação agrícola digital, são importantes para a excelência agrícola e para a implantação da Agricultura 4.0.

PALAVRAS-CHAVE: Agricultura; Agricultura Digital; Agricultura 4.0; Transformação Digital; Excelência Agrícola.

1. INTRODUCTION

The contemporary world, characterized by globalization and the invisible threshold of physical borders, demands new models of economy. Information and Communication Technologies (ICTs) open spaces for strategies that focus on automation and continuous generation of information and knowledge. "The traditional strategic planning process, based on episodic actions of the definition of vision and fixed priorities, for periods of four or five years, needs to be revisited" (EMBRAPA, 2014, p.16). It is necessary to adapt and improve business models to meet market globalization, export rules, consumer desires and to plan innovation systems (ANTUNES; DIAS; MAEHLER, 2016; BOLFE, 2016). It is important to envision technologies as strategic means that generate value, not as an end resource.

Agriculture , as well as the industry, develop and gather traditional actions, automated processes and intelligent machines (WANG, 2011). Digital agriculture becomes a way for modernization, integration, and automation of agriculture and promotes it as something economical, mechanical, intelligent, high quality and high yielding (ANDERSEN; JENSEN; SKOVSGAARD, 2016). However, automating farming mechanisms only generates data for farms. Handling data with austerity does not guarantee scientific practice or efficient application of agronomic knowledge. Digital agriculture addresses concerns(?) about cyber- physical grouping and arrives at Agriculture 4.0. Weltzien (2016) conceptualizes Agriculture 4.0 as the technology capable of automating cyber-physical systems through networks and different machines.

The purpose of this agriculture is to support cross-platform integration and enable systems to be interoperable. Rather than computing, agriculture 4.0 now encompasses the integration of tools and systems with physical and human resources to meet the production requirements of the industry and support their management (LIANG et al., 2005). However, aspects of Agriculture 4.0 are still related to technical and technological development, with algorithms and tools that automate some of the productive processes (SHAMSHIRI et al., 2018) and is widely applied as Digital Agriculture (WELTZIEN, 2016) . Changing this scenario requires new visions of strategies that affect the culture of labor operation, human and professional relations, and agricultural business models (VUPPALAPATI, 2017).

Weltzien (2016) stresses that there is no way to affirm a broad establishment of application of Digital Agriculture and its derivations since data alone supports only the

times of the collection of the farms and is not enough for their strategies. Changing this scenario requires vision of strategies that affect work culture, human, social, and professional relationships and agricultural business strategies (Vuppala, 2017). Consequently, Digital Transformation is a tool that mitigates the complexities of unfolding digital agriculture, offering opportunities for the creation of value in the agricultural scenario. Vaz, Apolinário, Correa, Vacari, Gonzales, Drucker, Bariani, Evangelista & Romani (2017) characterize digital transformation as a means of revitalizing business and improving effectiveness, sustainability and efficiency through innovations in product and service offerings.

This article's objective is to propose a model for competitive excellence in Agriculture in the 4.0 scenario, while considering the pillars of Digital Agriculture and Digital Transformation that have emerged in the literature. In order to do this, the following question must be considered: what factors influence competitive excellence in the agricultural era 4.0, based on the pillars of Digital Agriculture and Digital Transformation? To reach the objectives and answer the research question, this article is divided into 6 sections. It begins with a brief contextualization of the thematic and the research objective in this section. In section 2, the concepts needed to understand the study are presented, followed by the methodological procedures in section 3. Section 4 reports the results of the study, proposing a research model. Prior to this proposition, the sector's complexities were reported in the digital age and the elements that emerged from the retrieved studies. Finally, the final considerations (section 5) and the bibliographic references used (section 6) are discussed.

2. AGRICULTURAL VISION IN THE DIGITAL AGE

A generator of wealth, economic symbol and means of subsistence, agriculture, as well as industries, has developed and is inserted in the digital era. In order to meet the demand of the population, which also expands significantly, the aspects of innovation and construction of agricultural systems (Şerbu, 2014) have become key factors for the success of agriculture. Tang, Zhu, Zhou, Liu & Wu (2002) separate agriculture in three phases. The first, denominated by Primitive Agriculture is characterized by the work done by stoneware. The second, called Traditional Agriculture, is the use of tools and hardware. The third and current phase, called Digital Agriculture, is characterized by the use of advanced machines.

Digital agriculture becomes a path to modernization, integration, and automation of agriculture. It is economical, mechanical, intelligent, high quality and high performance (Andersen, Jensen & Skovsgaard, 2016). Digital agriculture is the macro view of the application of technologies in agriculture and was derived from the concept of Digital Earth in the 1990s (Shena, Basistb & Howardc, 2010). This type of agriculture is an essential factor for practices in the sector that gives rise to more specific and timely farming methods and processes, such as precision agriculture. Precision farming is characterized as a modern, high- tech farming method, which is based on advanced technological information and requires the development of digital agriculture for its techniques to be applied (Tang et al., 2002).

Weltzien (2016) points out that there is no way to affirm a broad establishment of application of Digital Agriculture and its derivations since data alone supports only the harvesting time of the farms, but they are not enough for their strategies. Digital Agriculture is developed for the denomination of Agriculture 4.0 when proposing the integration of the physical spaces to the digital spaces, next to the automation processes. Weltzien (2016) conceptualizes Agriculture 4.0 as the technology capable of automating cyber-physical systems through networks and different machines. The purpose of this agriculture is to support cross-platform integration and to make systems interoperable and as close as possible to realistic ideas. Rather than computerization, agriculture 4.0 now encompasses the integration of tools and systems to meet the production requirements of the industry and support its management (Liang, Hong, Fen & Xiang, 2005).

However, to a large extent, aspects of Agriculture 4.0 are still related to technical and technological development, with algorithms and tools that automate isolated parts of the productive processes (Shamshiri et al., 2018). It is also widely applied as Digital Agriculture (Weltzien, 2016). Modifying this scenario requires new visions of strategies that affect the culture of the work operation, human and professional relations and agricultural business models (Vuppala, 2017), proposing the integration of Digital Transformation to the Agricultural scenario

3. DIGITAL TRANSFORMATION: THINKING ABOUT CREATING VALUE IN THE DIGITAL AGRICULTURAL ENVIRONMENT

The technologies currently applied create visions and strategies that affect the culture of the work operation, the human relations and the speed of the organizations change. Technology is the core operation of the business. According to the World Economic Forum (WEF) (2016), technologies that transform, value creation opportunities and that, when grouped into business models, provide unparalleled competitive advantages. The term Digital Transformation was inserted, in the beginning, as the implantation of technologies that facilitated the digitization and storage of organizational information (Sanchez & Zuniti, 2018). Over the years, and with the continuous evolution of technologies and their creative goals, digital transformation has improved and become concerned not only with storage but with the entire process of digitized operations (Rogers, 2016).

There is a junction of technology to business, reshaping the modus operandi of how business is done, communicated and developed. Another important factor in digital transformation is that customers do not just have the role of buying and selling, accepting or not a product. They are now part of connections that interact with each other and have great power of decision and influence (Rogers, 2016). The organization and the agricultural field remain the protagonists of the process, but now they are faced with active clients who know what they want, who participate in the business and who are already perceived as a source of information, innovation, and creators of products and services.

In the Digital Transformation scenario, technology works in favor of farms and companies, but with visualizing integration, growth, efficiency, and value creation, with the customer as the core of the transformation. It is a new way of doing business, capable of stimulating organizations, governments, and countries in the construction of digital policies for solutions to everyday problems, in the innovative (Goerzig & Bauernhansl, 2018) and systematic (Kotarba, 2018) growth of the agricultural environment. This view also modifies the way to create new ventures (Demirkan, Spoher & Welser, 2016) and has technology as an enabling tool (Patel & McCarthy, 2001).

4. METHODOLOGICAL PROCEDURES

This research argues that subjects related to practices and studies on digital agriculture and digital transformation provide excellent social, sectoral and marketing results and allow the application of agriculture in the 4.0 era. This defense is understood and emphasized through the analysis of present scientific studies. This qualitative research accomplishes that by collecting previous studies from the SCOPUS, CAPES and EMBRAPA databases (available at: www.scopus.com; www.periodicos.capes.gov.br; www.embrapa.br/seb/periodicos-da-embrapa, respectively) that included descriptors linking the topics researched.

For the validation of the existence of studies that interact with the themes of Digital Agriculture and Digital Transformation in the 4.0 era, the junction of the descriptors Digital Transformation and Agriculture 4.0 were used. There was no return of studies correlating the terms in their abstract, keywords or titles. Deepening the factors identified by the paradigm of modern agriculture, the term agriculture 4.0, still recently explored, has been used interchangeably with Digital Agriculture. Although they have different meanings, they are consonant, expressed and understood in an egalitarian way (Weltzien, 2016).

For the solution of this demand, a new search was carried out contemplating the descriptors Digital Transformation and Digital Agriculture or Agriculture 4.0. As a result, among all the bases, a (01) scientific article belonging to Embrapa, which is titled "AgroAPI: creation of value for the Digital Agriculture through APIs" was obtained. The article reports the creation of an application to create value in agriculture, bringing principles of digital transformation, but focusing on the technological practices of agricultural digitization and proving the ideas of Weltzien (2016). The scarcity of results provides and raises the need for the research proposed in this article.

In order to arrive at works that were considered related and consistent with the relation of the terms proposed, a research was carried out based on the Digital Transformation in Agriculture; Digital Agriculture or Agriculture 4.0. This combination allows the current scenario, containing the proposed themes, to be understood in its entirety and becomes expedient for new propositions. The descriptors were used. The research was completed on January 12 and 13, 2019 and had as an adaptation that of Dresch, Lacerda and Antunes Jr. (2015). A total of 156 articles were identified, of which 115 belong to the SCOPUS database, nine (09) belong to the CAPES database and 32 belong to the Embrapa Newspapers database. Consequently, the exclusion criteria

and filters were applied. The first filter was withdrawn by duplicate studies. Of the total, a number of 13 were in duplicated .

In sequence, the abstracts and summaries were read to identify the proposed constructs and a better understanding of each subject. A total of 63 studies were performed, most of which presented technical reports and specific development of technologies and algorithms. The result portrays Bingwen's (2005) report in defending the deficiency of scientific development in the area. For the author, there is an excess of technical studies that report only algorithms or serve partitions of the agricultural sectors and not the integration as it is truly proposed. After the abstracts were read, the articles were downloaded and 18 of them were identified. Finally, the retrieved articles were read in their entirety, maintaining the same filter criteria (absence of model, relation of construct, among others). In the end, 33 articles were recovered. Among them, four were cited in the studies and although they were not recovered in the databases, they were included for to be identified as a relevant source to follow up on the investigation proposed here.

5. RESULTS AND DISCUSSIONS

Data and information that are captured and presented without preparation, "become unusable in the construction of knowledge" (Laville & Dionne, 1999, p 198). Therefore, prior to the results, a descriptive analysis of the articles was performed. It was observed that the beginning of the topics developed occurred in the year of 2002, with greater intensity from 2010 and representativeness in the year 2017. There was a gap of publications between the years of 2015 to 2010, spanning five years without publications of the referred subjects. The result is based on two biases: (i) the themes are recent and are still in discovery and/or; (ii) access to technologies leads to studies and the search for solutions to the problems of the agricultural environment and increases the number of studies in the area.

The authors of the studies from networks of knowledge, aligned themselves with the importance of the authors Wang, Y and Wang, X. Networks are sets of nodes and relations that demonstrate the interactions between the authors involved. These interactions are established by common values and interests (Moraes, Furtado & Tomáel, 2015). The authors represent the nodes and the loops that bind to each other, represent the existing interactions, or the lack of them. Wang, Y and Wang, X are responsible for grouping clusters and maintaining relationships between authors in

search of results for studies on the topics of digital agriculture or digital transformation.

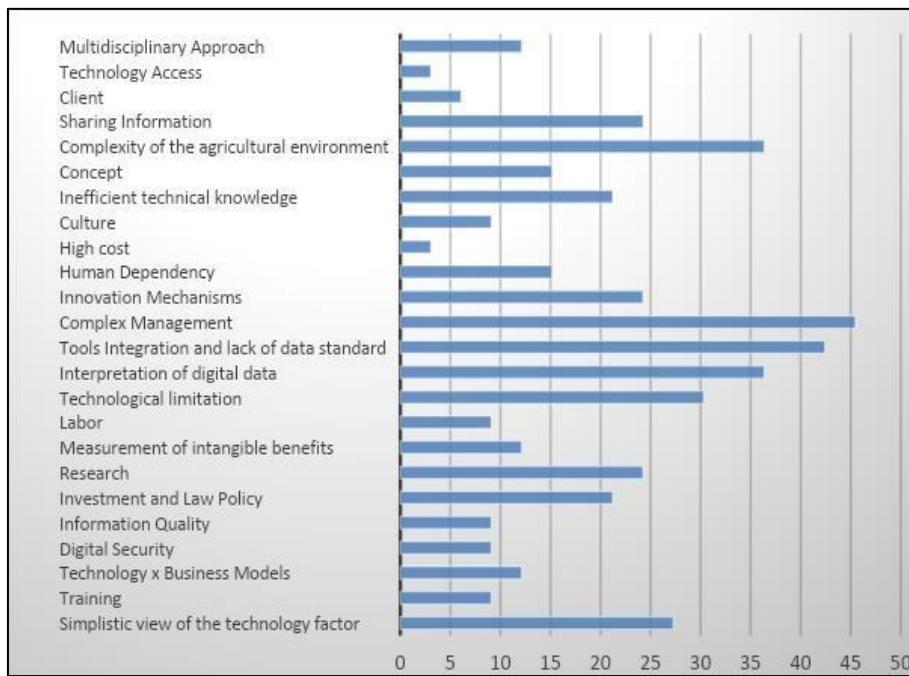
The authors share ideas, resources and stimulate the links of scientific research. The absence of these researchers would provoke the existence of isolated clusters that would not benefit science (Rocha, Costa & Silva, 2018). It is pointed out, then, the uniqueness of this type of research and the need for development on the world stage. For the presentation of the whole approach proposed in the study, the "Results" section is divided into three subsections: (I) survey of the factors hindering the application of digital agricultural transformation; (II) emerging factors of the studies retrieved to propose a model and, (III) proposing an agricultural model.

6. THE MISFORTUNES FOUND IN MODERN AGRICULTURE

When one speaks of a "digital" context, one is soon thinking of implementing systems and tools. The digital revolution excels at this scenario and provides resources for improving product and service innovations, whether for efficiency, effectiveness or sustainability (Dermikan, Spohrer & Welser, 2016). The challenges cited by the studies were raised, analyzed and consolidated. The survey provides a holistic view not only of the models but of the difficulties that need to be overcome, even if the models are applied.

The challenges faced by digital agriculture, through technological mechanisms and knowledge. On the one hand, the most reported difficulties are not in technology, but in its application and in the results that these bring to the agricultural sector. Agriculture faces challenges beyond its practices that although not fully controlled, directly impact production and make the management of agricultural processes complex, such as climatic variation, water scarcity, and social concern. (Nie et al. , 2010) (Picture 1).

Picture 1: Challenges of modern agriculture



Source: Research data

The absence of integration of the technological tools and the lack of standard of the data generated, which do not make the systems scalable and efficient (Wang et al., 2017) are also mentioned. Wang et al. (2017) explain that current systems do not have data portability and do not allow them to be connected to tools of different brands, so they do not talk to each other and do not share information. There is a scenario of tools that collect data continuously, but which need to be treated by high statistics to be understood and still partitioned (Shamshiri et al., 2018). In terms of technology, tools are presented, as well as the absence of technical knowledge (Shamshiri et al., 2018) and digital knowledge (Weltzien, 2016). Most users are not trained to handle the technologies and interpret their information or do not have sufficient technical knowledge to do so.

Rajeswari, Suthendran, and Rajakumar (2017) emphasize that technologies alone have considerable values, but these, when not understood, generate still incipient values for real competitiveness. Perhaps these are the causes of the difficulty of understanding the benefits generated by these tools and the lack of mechanisms of innovation in the sector. Furthermore, tool development is applied to partial and highly technical contexts, therefore it does not serve the field comprehensively (YAO, WU, 2011; SHINDE et al., 2014). This makes the technology simplistic, in relation to the vision one has about it, and it is complex in its use (Liang et al., 2003; NEHRA, NEHRA,

2005).

Wang et al. (2011) and Rajeswari, Suthendran and Rajakumar (2017) emphasize that managers and farmers themselves are often unaware of applied innovations and the very concept of Digital Agriculture. Therefore, they cannot apply it adequately. This lack of knowledge can also raise costs and demand costly research in the scenario (ALENCAR et al., 2017), which in turn is precarious in investments and projects of laws (YONG et al., 2003; RAJESWARI; SUTHENDRAN; RAJAKUMAR, 2017). Agricultural information by itself is already highly complex, either by the quantity generated, by the variety of factors that impact the sector, including the external environment, or by the lack of integration between systems and investments.

Digital Transformation combined with Digital Agriculture emerges as an outlet for market access, through the proposition of rapid cycles of innovation, value delivery (Rogers, 2016), high levels of collaboration (Wang, 2011) and market monitoring (Vaz et al., 2017). These factors support the reduction of research and production costs, a better management model, and even an easy perception of values when using technologies. Digital transformation offers integrated and intelligent solutions applicable to the reality of the field. The eminence of technologies exceeds farm thresholds and, consequently, puts the field in line with global production requirements and competitiveness factors.

6.1 PILLARS OF DIGITAL AGRICULTURE AND DIGITAL TRANSFORMATION, EMERGED FROM THE LITERATURE

In an attempt to propose an effective solution for agriculture in the digital age and propose a means of competitive excellence, the authors sought to identify the factors that emerged from the studies recovered by this article. The idea is that the union between the factors of digital agriculture and digital transformation propitiate the development and applicability of Agriculture in the 4.0 era, already quoted in the literature (Jayaraman et al., 2014, Massuruhá & Leite, 2016), but still unexplored (Weltzien, 2016).

Factors focused on knowledge, information sharing and human development, are pervaded by different models in both conjunctures. One does not negate the other and reinforces the idea that the opportunity for sustainable agricultural development can be enhanced by integrating the factors of Digital Agriculture and Digital Transformation (Picture 2).

Picture 2: Factors of Digital Agriculture and Digital transformation

Digital Agriculture	Digital Transformation
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Open source application ▪ Database with uniform structure and standard data on agriculture ▪ Government, industry and scientific systems information and cooperation ▪ Knowledge-based culture ▪ Agricultural technological infrastructure and structures ▪ Shared data and information system ▪ Decision and forecast business system ▪ Research and Innovation System ▪ Production System and Remote Services ▪ Learning systems and practical experience ▪ Systems of laws, investments and regulations ▪ Market Systems ▪ Systemic solutions, networks and mobile 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Open Systems Architecture ▪ Database with uniform structure and standard data on agriculture ▪ Value Chain ▪ Client ▪ Culture based on knowledge and collaboration ▪ Value Delivery ▪ Knowledge management ▪ Identification of skills and training ▪ Laws, investments and regulations ▪ Partnerships and co-creation ▪ Platform for cooperation and competition ▪ TD deployment process ▪ Digital Transformation Roadmap ▪ Shared system of shared agricultural data and information ▪ Business Management System ▪ Information System - production and remote services ▪ Research and Innovation System ▪ Agricultural Digital Solutions ▪ Systemic solutions and modern technologies

Source: Research data

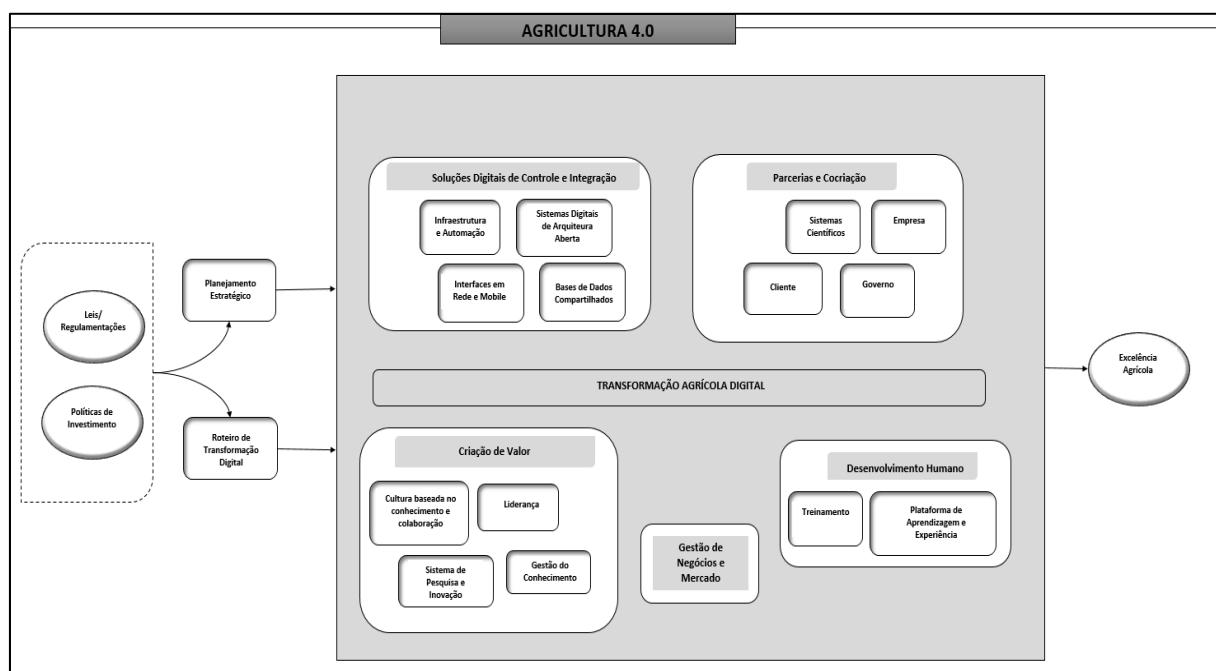
The factors of digital agriculture focus on the applicability of the tools that can be used in agriculture for the capture, storage, and sharing of field data. These tools are able to make production processes more manageable and field operations oriented and sustainable (Wang et al., 2017). In addition to the tools, , more than just maintaining them, digital agriculture proposes data standards and metadata for the integration of resources, supplying deficiencies of integration of models, as cited by Alencar et al. (2017) and Shamshiri et al. (2018). The factors of Digital transformation, in addition to the technological dismemberment, already mentioned by Digital Agriculture, bring the idea of planning, growth and value creation.

Based on value delivery methods (Vaz et al., 2017, Sanchez & Zuniti, 2018), knowledge management (Rogers, 2016), innovation and research (Vaz et al., 2017), digital transformation proposes to agriculture a holistic and market oriented view of production. In order to address these demands and the need to minimize agricultural sector gaps to competitive excellence, a model of Agriculture 4.0 is proposed. Such a proposal becomes a great benefit since it is understood that common industrial management strategies are not satisfactory when applied to the agricultural sector.

6.2 PROPOSITIONS OF A MODEL FOR AGRICULTURAL FIELD ORIENTATION FOR COMPETITIVE EXCELLENCE

Digital agriculture is seen as a development strategy for the agricultural landscape around the world. With the objective of seeking competitive excellence in the agricultural field, a model that is aligned with the strategic objectives of the market and the driving forces of Digital Agriculture and Digital Transformation is proposed. The model has a macro view of five variables. The variables designate research, which maintains relations of causes and values (LAVILLE; DIONNE, 1995). These are: Regulatory Political Environment; Strategic planning; Digital Transformation Roadmap, Digital Agricultural Transformation, and Competitive Excellence. All variables considered the studies recovered. Through continuous interactions, digital and business solutions are delivered that are effective for the development of agriculture. The model is shown in picture 3.

Picture 3: Model Propose



Source: Research data

Through the proposed model, it is assumed that digital agriculture should be considered a means and not an objective to be achieved by the agricultural sector. Technologies should be applied as a tool that adds value (Rogers, 2016), but consistent with the field business models. It is necessary to adapt and improve business models, to meet market globalization, export rules (Vaz et al., 2017), meet

consumer desires (Sánchez & Zuntini, 2018) and plan innovation systems (Rogers, 2016; Vaz et al., 2017).

Therefore, a second-order variable called Digital Agricultural Transformation is created. This variable is composed of Digital Control and Integration Solutions (Tang et al., 2002); Nie et al., 2010; Bingwen, 2011; Wang et al., 2016; Liu et al., 2017; Rajeswari, Shuthendran and Rajakumar, 2017; Shamshiri et al., 2018; Speranza and Ciferri, 2017; Vaz et al., 2017; Wang, 2017), Business and Market Management (Bingwen, 2005; Wang, 2011; Rogers, 2016; Souza et al., 2017; Fresco and Ferrai, 2018), Value Creation (Duan, 2010; Wang, 2011; Jayaraman et al., 2014; Shinde et al., 2014; Dermikan, Spoher and Welser, 2016; Rogers, 2016; Alencar et al., 2017; Sánchez and Zuntini, 2018, Partnerships and Co-creation (Wang, 2011; Shinde et al., 2014; Rogers, 2016; Vaz et al., 2017) and Human Development (Nehra and Nehra , 2005; Baozhu and Lei, 2011; Bigwen, 2011; Wang, 2011; Weltzien, 2016).

Agriculture is a field composed of a high volume of information. This information comes from many different sources and has different characteristics. It has information on spatial domain, temporal variability, machines, and production. Therefore, there is a need for digital tools that support the capture, processing, and storage of industry information (BINGWEN, 2011) and provide measurements that can be reliably used in agriculture. The implementation of digital solutions rests on the model as an AD practice that directly supports the rise of the agricultural field, providing useful and timely information (NEHRA; NEHRA, 2005). There is a suitable and realistic infrastructure (WANG et al., 2017), which provides the least human intervention (WANG et al., 2016); virtualisation technology for interface management (SHEN et al., 2011) and creation of virtual farms (SHAMSHIRI et al., 2018); shared database (SPERANZA, CIFERRI, 2017); systems in networks with virtual interfaces (SHAMSHIRI ET AL. 2018) and digital solutions with unified standards and open architectures (SPERANZA, CIFERRI, 2017)

The new business models require partnerships and interdependence to meet market challenges. Collaboration networks are formed, both client networks and networks of contacts and collaborations between companies (ROGERS, 2016). Relationships with suppliers, consumers, and universities, among others, are seen as organizational strategies for creating value and gaining competitive advantage. In these partnerships, Rogers (2016) reports the importance of the client as an opinion maker and supporter of the productive processes. As Wang (2011) reports, the

partnership with companies, universities, scientific institutions and government create possibilities for dynamic market analysis, with an open field of exploitation of international digital commerce (WANG, 2011).

These partnerships break the barriers of agricultural monopolies, mitigate technical barriers, and allow farmers of any size to be prepared for the market. The intention is to create multidisciplinary dialogues (FRESCO; FERRARI, 2018) with the objective of improving agricultural performance, either through resource availability, sharing of best practices or even crowdsourcing, as cited by Vaz et al. (2017). In the same vein, the research and innovation systems come as a pillar of the Digital Agricultural Transformation. The aim is to support digital agricultural revolutions and promote social development (DUAN, 2010). The mechanisms of innovation allied to production and education (LIANG et al., 2002) derive important projects that assist the sector in ascending.

On the one hand, activities that bring new ideas, techniques and methods should be recognized as tools to support the performance of the field. Therefore, it is believed that factors such as: Research and Innovation Systems, Knowledge Management, Knowledge-Based Culture and Collaboration, and Leadership Relationship are essential for agriculture. On the other hand, the agricultural sector is under a global market regime (HERLITZIUS, 2017), however Wang et al. (2011) show in their studies that agricultural producers present inept notions about the market. Moreover, this information does not even reach them in a timely manner (HU; ZHANG; DUAN, 2015). Nevertheless, age competition is composed of digital disintermediation (ROGERS, 2016), sectoral boundaries are fluid, and the definition of competitors has become complex.

Maintaining systems with market and business environment information optimizes farmers' decision-making, which is then provided with useful and time-sensitive information. Prices, harvests, world best practices, market analysis information, and industry forecasts can be shared. This will be an "open and broad field for the trade of international digital agriculture" (WANG, 2011, p. 91). Governments can be characterized as contributors, propose funding policies and investments based on system data, conduct business transactions via, issue alerts, and much more (SOUZA et al., 2017). A fully automated and digital agriculture cannot be expected. "Modern farms are expected to produce more quality incomes at lower costs in a sustainable and labor-dependent manner" (SHAMSHIRI et al., 2018, p.2). In this sense, one must

worry about the development and talent of the whole team. Nehra and Nehra (2005) emphasize that farmers are often not aware of techniques and innovations and are not prepared to understand the data provided by digital tools.

Many farmers do not adopt technologies because of a lack of knowledge or limitations. It is in this sense that the Variable Human development is proposed. Insufficient knowledge, low technical and digital notions and lack of understanding of AD can lead to limiting and ineffective business and production. Capacity-building systems target farmers in the execution of their day-to-day activities, tool handling, and the creation of innovations and techniques. The possibility of a system and training bases creates links between farmers and scientists and promotes the generation of knowledge among all those involved (NEHRA, NEHRA, 2005; BIGWEN, 2011; WANG, 2011). It is these training programs that will enable the transfer of tacit knowledge that will support business growth strategies (De MUYLDER, et al., 2018) through connections with the producers themselves in problem-solving.

It is believed that the Digital Agricultural Transformation, composed by the integration of Digital Agriculture and Digital Transformation, directly influences the agricultural competitive excellence and is influenced by planning and strategy factors. Rather than technologies, agricultural sectors are influenced by external, non-dominating factors that need to be followed, such as the laws and regulations and the investment policies offered, which are presented in the model. Baozhu and Lei (2011) emphasize that the rules applied to decentralized investments and capital systems often provide low-level, small-scale, and even redundant agricultural processes. Incipient investments and weak legislation make agricultural development slow (WANG, 2011).

The model considers that the legal policy environment, composed of investment laws / regulations and policies, relates directly to the strategic planning and the Roadmap for the application of digital agricultural transformation. These factors, even if external to the sector, determine the rules by which sales and the production process will be guided. The definition of strategic planning and Digital Transformation guidelines also indicate the applicability models of field scanning. TANG et al., 2002, YANG, WANG and ZHUANG, 2010). The management models applied to industrial environments are not applicable to the sector, which presents a complex amount of information, requirements, inputs and risks.

Good work in strategic planning can imply good results in the application of

Digital Agricultural Transformation, as well as avoid risks of computerization and waste (YANG, WANG; ZHUANG, 2010). It allows for progressive, innovative practices that holistically impact the levels of the agricultural field. In the same perspective, the Digital Transformation Roadmap needs to be defined to support the processes of change and focus on culture, innovation and collaboration. The scans will be understood and their values visualized, as reported by Rajeswari, Shuthendran and Rajakumar (2017). In addition, through the Digital and Agricultural Digital Transformation solutions, there will be integrated technologies, automated processes with the application of intelligent systems, people skills and intelligence for interpretation and data application. The entire productive process will be based on policies and investments and on the plans consistent with the reality of the field, but with a focus on global development.

7. FINAL CONSIDERATIONS

Digitization has reached agriculture and there is now the quest for production excellence and competitive advantage. Rather than include technological resources, modern agriculture requires automation, integration, competition, and knowledge. However, what is found are technical applications that serve isolated parts of farms. In view of this, this article proposes integration of digital agriculture and digital transformation as a real application of Agriculture 4.0. This integration and model proposition can lead to the possibility of growth of the sector. As a result, internal and external factors are integrated into agriculture, which in turn seek the competitive excellence of the sector. External factors such as legal political environment, strategic planning and transformation roadmap are essential for digital agricultural transformation practices.

Digital agricultural transformation is characterized by the pillars of digital agriculture and digital transformation: digital integration and control solutions, partnerships and co- creation, business and market management, value creation and human development. It can be concluded that the factors of innovation, systems integration, automation, processes, and research are steps for agricultural development in the new century. More than scanning, Agriculture 4.0 becomes a means to reach more competitive and solidified levels. Technologies need to be integrated with business models and effectively serve customers and market regulations.

The objective is to develop agricultural competitiveness and generate actions

that go beyond farms' barriers and increase the possibility of competition. Therefore, this article brought a vision beyond technical structures and developments in specific areas in agriculture. It should be noted that this survey took place on a specific basis and was not validated through field analysis. As a future proposal, it is intended to apply the model in the Brazilian agricultural scenario, to verify the impact of the factors and the relation of the constructs that compose it.

REFERÊNCIAS

- Alencar, J. R., Dias, A., Maximo, F. A. Francisco, M. S. 2017. "Agência Embrapa de Informação Tecnológica (Ageitec): avaliação de seus impactos econômicos". In *Embrapa Informática Agropecuária*. Campinas: Editora da Unicamp: Embrapa Informática Agropecuária.
- Andersen, T. B., Jensen, P. S. Skovsgaard, C. V. 2016. "The heavy plow and the agricultural revolution in Medieval Europe". *Journal of Development Economics*, 118, 133-149.
- Antunes, Graziela Mota; Dias, Marcelo Fernandes Pacheco; Maehler, Alisson Eduardo. 2016. "Processo de inovação: estudo de caso da adoção do sistema de Produção de arroz orgânico vinculada ao nema". *Revista de Administração da Universidade Federal de Santa Maria*, Rio Grande do Sul, 9-2, abr-jun.
- Demirkan, H., Spohrer, J. C., & Welser, J. J. (2016). Digital innovation and strategic transformation. *IT Professional*, 18(6), 14-18.
- Bingwen, Qiu. 2005. "Digital agriculture under the framework of digital province". In: *Proceedings. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*.
- Baozhu, Sheng; Lei, Chen. "Probing into Application Mode of Digital Agriculture in Anhui Province". 2011. In: 2011 International Conference on Computer Distributed Control and Intel-ligent Environmental Monitoring. IEEE, p. 2165-2170. Feb.
- Bolfe, Édson L. et al. 2016. "Matopiba em crescimento agrícola Aspectos territoriais e Socioeconômicos". *Revista de Política Agrícola, Brasília*. Ano XXV, n. 4. p. 38-62. Out-Dez.
- De Muylder, Cristiana Fernandes; La Falce, Jefferson ; Gomes, M. E. N. ; Giacomin, R. 2018. "Transfer of tacit knowledge - Proposal of model and test in preparatory course". *PMKT- Revista Brasileira de Pesquisas de Marketing, Opinião e Mídia*, 11, p. 185-199.
- Dresch, Aline; Lacerda, Daniel Pacheco; Júnior Antunes, Antonio Valle Antunes. 2015. "Design Science Research: a method for science and technology advancement". New York: Springer, 2015. 161p.
- EMBRAPA. 2014. "Visão 2014-2034: o futuro do desenvolvimento tecnológico da agricultura brasileira: síntese". Embrapa. Brasília, DF : 53 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/987801/visao-2014-2034-o-futuro-do-desenvolvimento-tecnologico-da-agricultura-brasileira-sintese>. Acesso em: 03 de abril de 2019.
- Fresco, R. Ferrari, G. 2018. "Enhancing Precision Agriculture by Internet of Things and Cyber Physical System". *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat.* 125, 53-60.
- Goerzig, D. Bauernhansl, T. 2018. "Enterprise architectures for the digital transformation in small and medium-sized enterprises". *Procedia CIRP*, 67, 540-545.
- Herlitzius, T. 2017. "Automation and Robotics-The Trend Towards Cyber Physical Systems in Agriculture Business" (No. 2017-01-1932). SAE Technical Paper.
- Jayaraman, Prem Prakash; Palmer, Doug; Zaslavsky, Arkady; Salehi, Ali, and Georgakopoulos, Dimitrios. 2015. "Addressing information processing needs of digital agriculture with OpenIoT platform". In: *Interoperability and Open Source Solutions for the Internet of Things*. Springer, Cham, p. 137-152. Marc.

- Kotarba, M. 2018. "Digital transformation of business models". *Foundations of Management*, 10(1), 123-142.
- Laville, C. Dionne, J. 1999. A construção do saber: manual de metodologia da pesquisa em ciências humanas.
- Liang, S. S., Su-Hong, L., Miao-Fen, H. Xiang, L. 2005. "Building PROSAIL model simulation with Web services". In *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, (Vol. 2, pp. 3). IEEE.
- Liu, Xiaojun; Zhang, Yuou; Cao, Weixing and Zhu, Yan al. 2017. "Design and realization of a VRGIS-based digital agricultural region management system". Disponível em: <https://hal.inria.fr/hal-01559622>. Acesso em 17 de jan. De 2019.
- Massruhá, S. M. F. S., & Leite, M. D. A. 2017. 'Agro 4.0-rumo à agricultura digital'. In *Embrapa Informática Agropecuária-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. São Paulo: Centro Paula Souza.
- Moraes, M. Furtado, R. L. Tomaél, M. I. 2015. "Redes de Citação: estudo de rede de pesquisadores a partir da competência em informação". *Em Questão*, 21(2), 181-202.
- Nehra, Vijay; Nehra, Kiran. 2005. "ICT: A new horizon in Indian agriculture". *IETE Technical Review*, 22(5), p. 395-400, 2005.
- Nie, P. C. Wu, D. Zhang, W. Yang, Y. He, Y. 2010. "Hybrid Combination of GIS, GPS, WSN and GPRS Technology in Modern Digital Agriculture Application". *Advanced Materials Research*, 108, 1158-1163. Trans Tech Publications.
- Patel, K. McCarthy, M. P. 2001. "Transformação digital-visões estratégicas para a liderança em e-business". Makron Books.
- Rajeswari, S., Suthendran, K. Rajakumar, K. 2017. "A smart agricultural model by integrating IoT, mobile and cloud-based big data analytics". In *International Conference on Intelligent Computing and Control (I2C2)* (pp. 1-5). June
- Rocha, M. M. V., da Costa, J. H. L., Silva, A. K. A. 2018. "A Produção de Conhecimento sobre Regime de Informações nos periódicos em Ciência da Informação". *Perspectivas em Gestão & Conhecimento*, 8:3, p. 255-275.
- Rogers, D. L. 2016. *The digital transformation playbook: Rethink your business for the digital age*. Columbia University Press.
- Sanchez, M. A., & Zuntini, J. I. 2018. Organizational readiness for the digital transformation: a case study research. *Revista Gestão & Tecnologia*, 18: 2, 70-99.
- Şerbu, R. S., 2014. "An Interdisciplinary Approach to the Significance of Digital Economy for Competitiveness in Romanian Rural Area Through E-Agriculture". *Procedia Economics and Finance*, 16, p.13-17.
- Shamshiri, R., Weltzien, C., Hameed, I. A., J Yule, I., E Grift, T., Balasundram, S. K. & Chowdhary, G. 2018. "Research and development in agricultural robotics: A perspective of digital farming. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*". 11 (4), 1- [10.25165/i.ijabe.20181104.4278](https://doi.org/10.25165/i.ijabe.20181104.4278)

- Shena, S., Basist, A., & Howard, A. 2010. Structure of a digital agriculture system and agricultural risks due to climate changes. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 1, p. 42-51.
- SHINDE, Sujit et al. 2014. "mKRISHI BAIF: Digital transformation in livestock services". In: *Proceedings of the India HCI 2014 Conference on Human Computer Interaction*. ACM, India, p. 148. DEC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/2676702.2677200>.
- Souza, Kleber Xavier Sampaio; Ternes, Sônia; Medeiros, Stanley Robson de; Moura, Fernanda; Barioni, Luís Gustavo; Higa, Roberto Hiroshi; Fasiaben and Maria do Carmos Ramos. 2017. A prospective study on the application of Data Science in agriculture. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 11. Campinas: Editora da Unicamp: Embrapa Informática Agropecuária.
- Speranza, Eduardo Antonio; Ciferri, Ricardo Rodrigues. "Integração de ferramentas de SIG e mineração de dados para utilização em atividades de gestão espacialmente diferenciada aplicada na agricultura de precisão". In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 11., 2017, Campinas. Ciência de dados na era da agricultura digital: anais. Campinas: Editora da Unicamp: Embrapa Informática Agropecuária, 2017. 2017.
- Tang, S., Zhu, Q., Zhou, X., Liu, S., & Wu, M. 2002. "A conception of digital agriculture". In *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. 5, p. 3026-3028.
- Vaz, Glauber José. Apolinário, Daniel Rodrigo de Freitas; Correa, Jorge Luiz; Vacari, Isaque; Gonzales, Luis Eduardo; Drucker, Débora Pignatari; Bariani, Joice Machado; Evangelista, Sílvio Roberto Medeiros and Romani, Luciana Alvim Santos Romani. 2017. AgroAPI: criação de valor para a Agricultura Digital por meio de APIs. In: In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 11. 2017, Campinas. Ciência de dados na era da agricultura digital: anais. Campinas: Editora da Unicamp: Embrapa Informática Agropecuária, 2017. 2017.
- Vuppala, J. S., Kedari, S., Ilapakurthy, A., Ilapakurti, A., & Vuppala, C. (2017, April). "Smart Dairies—Enablement of Smart City at Gross Root Level". In *Third International Conference on Big Data Computing Service and Applications (BigDataService)* (pp. 118-123). IEEE.
- Yao, Hong; Wu, Yong-xing. 2011. "A Research about the Application of Information Technology in the Precision Agriculture: Taking the Operating System of Shanghai Agriculture Economy as an Example". In: *International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture*. Springer, Berlin, Heidelberg. p. 215-223.
- Yang, Hui; Wang, Xi; Zhuang, Weidong. 2009. "Case Analysis of Farm Agriculture Machinery Informatization Management Network System". In: *International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture*. (p. 65-76).
- Springer Wang, S. W. (2011, August). "The Effect and Development Strategies of Digital Agriculture during New Countryside Construction". In *Second International Conference on Digital Manufacturing & Automation* (pp. 1270-1273). IEEE.
- Wang, Y., Balmos, A. D., Layton, A. W., Noel, S., Ault, A., Krogmeier, J. V., & Buckmaster, D. R. 2017. "An Open-Source Infrastructure for Real-Time Automatic Agricultural Machine Data Processing". In *Annual International Meeting* (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Weltzien, C. 2016. "Digital Agriculture or Why Agriculture 4.0 Still Offers Only Modest Returns". *Landtechnik*, 71:2, p. 66-68.

WEF- World Economic Forum White Paper Digital Transformation of Industries: Digital Enterprise (2016, January). Disponível em: <http://reports.weforum.org/digital-transformation/wp-content/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/digital-enterprise-narrative-final-january-2016.pdf>. Acesso em: 01 de Fevereiro de 2019.

CAPÍTULO 02

USINA AUTOSSUSTENTÁVEL DE INCINERAÇÃO DE LIXO DISPENSÁVEL PELA RECICLAGEM: ESTUDO DE VIABILIDADE PARA A CIDADE DE BELO HORIZONTE

Bruna Araújo Souza

Graduanda em Engenharia Civil

Instituição: Centro Universitário UNA – Campus Barreiro

Endereço: Avenida Afonso Vaz de Melo, 465. Barreiro, Belo Horizonte – MG, Brasil

E-mail: brunaaraujosouza@hotmail.com.br

Walliston dos Santos Fernandes

Doutor em Estruturas pela UFMG

Instituição: Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP

Endereço: Campus Morro do Cruzeiro, s/n. Bauxita, Ouro Preto – MG, Brasil

E-mail: walliston.fernandes@ufop.edu.br

Larissa Camilo de Souza Lima e Silva

Doutora em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável pela UFMG

Instituição: Centro Universitário UNA - Campus Liberdade

Endereço: Rua da Bahia, 1764. Lourdes, Belo Horizonte – MG, Brasil

E-mail: larissa.silva@prof.una.br

José Ronaldo Tavares Santos

Mestre em Engenharia e Gestão de Processos e Sistemas pelo IETEC

Instituição: Centro Universitário UNA - Campus Liberdade

Endereço: Rua da Bahia, 1764. Lourdes, Belo Horizonte – MG, Brasil

E-mail: jose.tavares@prof.una.br

Gustavo Vinícius Duarte Barbosa

Mestre em Engenharia Elétrica pela UFMG

Instituição: Faculdade Pitágoras – Unidade Raja Gabáglia (Engenharias e TI)

Endereço: Avenida Raja Gabáglia, 1306. Gutierrez, Belo Horizonte - MG, Brasil

E-mail: gustavogvdb@fab.mil.br

Inara Kellen Fonseca

Mestre em Estatística pela UFMG

Instituição: Centro de Instrução e Adaptação da Aeronáutica (CIAAR)

Endereço: Rua Ten Aviador Doorgal Borges s/nº Bairro CIAAR, Lagoa Santa - MG - Brasil

E-mail: inaraikf@fab.mil.br

Natália Tavares Santos

Especialista em Gestão Estratégica de Projetos pela Universidade FUMEC

Instituição: Universidade FUMEC

Endereço: Rua Cobre 200 – Cruzeiro, Belo Horizonte – MG, Brasil

E-mail: santos.nanat@gmail.com

Gustavo Rodrigues Coimbra

Tecnólogo em Gestão e Tecnologia da Informação

Instituição: Universidade FUMEC

Endereço: Rua Cobre 200 – Cruzeiro, Belo Horizonte – MG, Brasil

E-mail: gustavorcoimbra@gmail.com

RESUMO: Esta pesquisa aborda um estudo preliminar propondo a utilização de um incinerador de lixo urbano como peça fundamental no processo de redução desses dejetos, ou seja, resíduos contaminados que teriam como destino aterros ou lixões, visto que toneladas de lixo se acumulam nesses locais e com o passar do tempo e aumento da população o problema se torna mais grave. A Prefeitura Municipal de Belo Horizonte trabalha com ações capazes de aumentar a quantidade de materiais que podem ser reaproveitados e transformados em outros produtos, sendo necessário apenas expandir as ações que existem. A proposta deste artigo é utilizar tecnologias já existentes e aprimorá-las, criando mecanismos que unam sociedade, sustentabilidade, ciência, trabalho e inovação em um só âmbito. Todavia, o processo começa nas residências com a separação correta do lixo, sendo que após a coleta seletiva a matéria-prima segue para os galpões onde cada classe receberá o tratamento adequado para transformação em novos produtos. O projeto propõe geração ininterrupta de energia através do uso de resíduos da reciclagem e uso de materiais. Além disso, é realizada uma pesquisa de opinião geral, que aborda questões sobre o processo a ser aplicado.

PALAVRAS-CHAVE: Energia elétrica, Inovação, Sustentabilidade, Tecnologia, Resíduo urbano.

ABSTRACT: This research addresses a preliminary study for the use of an urban waste incinerator as a fundamental principle of a process of reusing materials, i.e., contaminated waste such destination is a landfill, given that tons of waste are accumulated in these places. Belo Horizonte city hall intends to increase the amount of material that can be reused and transformed into another products. This paper propose to use current technologies and improve them, in order to create mechanisms that combine society, sustainability, science, and innovation. Therefore, the process starts in each home, with a correct separation of the waste, and after a selective garbage collection the raw material goes to the sheds where each class will receive the appropriate treatment for transformation into new products. The project proposes uninterrupted power generation through the use of waste from the recycling and use of materials. In addition, a survey of general opinion was carried out, which covers questions about the process that intends to be applied.

KEYWORDS: Electrical energy, Innovation, Sustainability, Technology, Urban waste.

1. INTRODUÇÃO

No atual cenário mundial, que perdura desde o início dos tempos, numa corrida insana por lucros, bens, especiarias ou minerais, vivemos a mercê de uma sociedade culturalmente inserida nesse sistema, ao qual fora sucumbida.

Com a finalidade de reduzir os estragos causados à natureza pela ação devastadora da raça humana é necessário propor algo diferente que une todos os interesses, mas que tenha por objetivo principal, renovar nossas florestas, cuidar da nossa fauna e flora, dar alimentação de qualidade a quem precisa, produzir energia, criar novos produtos para o mercado de construção civil, novos empregos, novas oportunidades e novos sonhos.

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública (ABREL), em 2010, no Brasil, 6,7 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) não foram coletados, contribuindo para o montante de quase 23 milhões de toneladas de RSU despejados em lixões ou aterros controlados, provocando irreversíveis danos ao meio ambiente.

Para cumprir com o proposto será apresentado um estudo das principais variáveis que podem comprometer o funcionamento do projeto.

“Não podemos prever o futuro. Mas podemos criá-lo.” (COLLINS; HANSEN, 2012).

Segundo Collins e Hansen (2012), todas as empresas passam por circunstâncias parecidas, o que muda é o modo com que cada uma escolhe para lidar com determinada situação.

Portanto, o objetivo geral desse estudo é propor uma solução para a questão de resíduos sólidos urbanos em todas as esferas do processo, com objetivos específicos de levantar dados relevantes para a pesquisa quanto o processo atual utilizado, propor melhorias de baixo custo e com a contribuição da população, validar a participação da comunidade como peça-chave no modelo proposto.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 REGULAMENTAÇÃO

A questão de gestão de resíduos sólidos no Brasil e em países subdesenvolvidos é tratada de forma omissa, o mais simples com custo elevado, com baixos benefícios à natureza. No Brasil, várias cidades ainda não possuem coleta de resíduos sólidos urbanos, contribuindo para aumento de doenças ligadas a infecção

por animais, que vivem em lixões e aterros clandestinos. A população se adapta a realidade na busca de soluções economicamente viáveis e desenvolvem formas louváveis em boas alternativas (BARROS, 2012).

A regulamentação em 2010 da Lei nº 12.305 (Ministério do Meio Ambiente, 2010) sancionada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), regulamentada pelo decreto 7.404/10 é um marco no setor por tratar de todos os resíduos sólidos (materiais que podem ser reciclados ou reaproveitados), sejam eles domésticos, industriais, eletroeletrônicos, entre outros. E também por tratar a respeito de rejeitos (itens que não podem ser reaproveitados), incentivando o descarte, correto o trabalho é feito por cooperativas ou associações sem apoio do governo local e federal. Ao todo são 15 itens que compõe o PNRS e o 6º item contempla o incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados.

Ademais, nos últimos anos tem-se observado um grande movimento de pessoas ligadas as questões de sustentabilidade. A agenda de 2030 disponibilizada pela ONU (Organização das Nações Unidas), dispõe de 17 objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU em sua maioria contemplando ações sustentáveis para que se possa preservar o planeta para futuras gerações. Um nicho de pessoas vem surgindo com objetivo de gerar senso de urgência sobre as questões ambientais. A questão tem de ser difundida criando senso de responsabilidade na sociedade. “Cada brasiliense joga fora 2,4 kg de resíduos por dia” (CORREIO BRAZILIENSE, 2010). Em contrapartida, “Belo Horizonte corre o risco de não ter onde jogar o lixo”, (ESTADO DE MINAS, 2010).

Por desconhecer o processo poucos são os adeptos a incineração. Outro ponto a ser observado é o custo envolvido no processo citado. Segundo Barros (2010), tem que se observar as características de cada localidade. No Japão a maioria dos resíduos são incinerados, o fato de grande maioria ser plástico e papel e possuírem grande capacidade calorífica contribuem para eficácia do modelo e com os resíduos são feitos aterros até sobre o mar: áreas que posteriormente serão ocupadas. Portanto, um estudo aprofundado deve ser realizado para cada região.

2.2 PROCESSO DE GERAÇÃO DE LIXO

No modelo atual adotado no Brasil, o lixo doméstico é embalado nas residências, coletado pela prefeitura e levado para aterros controlados, sanitários e lixões. São adotadas também algumas medidas adicionais de coleta, tais como: coleta

em porta de materiais recicláveis e a coleta das equipes de limpeza da limpeza urbana. Segundo o site da Prefeitura de Belo Horizonte (2018), o serviço está presente em 36 bairros, alcançando uma população aproximada de 390 mil pessoas, em 125 mil domicílios, e é realizada uma vez por semana.

Iniciativas como essa precisam ser ampliadas seguindo um planejamento específico de acordo com a frase “(...) na natureza nada se perde, nada se cria, tudo se transforma”, atribuída por Lavoisier (1743-1794). O lixo não veio da natureza. O lixo é uma criação humana oriunda de matérias primas fornecidas pela natureza. O modelo proposto deste artigo é embasado na Lei de Lavoisier, e o processo de melhoria é ilustrado para melhor entendimento na figura 1.

Figura 1: Ciclo do processo de melhoria para tratamento do lixo.



Fonte: Autores, 2020.

Nesse modelo é essencial a preparação da comunidade, aplicação de cursos e oficinas baseadas na forma correta de separação. Outro ponto importante é tratar do ganho ambiental e a importância da participação de todos para o sucesso no final do ciclo. Separação nas residências, com o objetivo de reduzir o material contaminado

para se incinerar o mínimo possível e possibilitar a reciclagem e reaproveitamento da maior parte da matéria. Outro fator importantíssimo é elencar leis de incentivos para a adesão de associações, cooperativas e empresas especializadas na reciclagem de cada classe de material. O lixo orgânico pode ser usado em hortas comunitárias e ambientes verdes da cidade. Portanto, a incineração é feita apenas do que não se pode utilizar no ciclo.

2.3 SUSTENTABILIDADE

Nos últimos anos têm se falado mais em sustentabilidade, novas formas de reduzir a poluição, dos veículos automotores e das industriais, que são os maiores emissores de gases que prejudicam tanto a natureza, quanto o ser humano. O tema tem sido debatido em escolas, faculdades, fóruns, congressos, etc..., e vêm ganhando adeptos pelo mundo. Uma nova geração de consumidores que optam por comprar produtos que tenham origem de empresas que cuidam do meio ambiente ou que promovem ações de forma a minimizar o dano causado a natureza tem feito cada vez mais sucesso.

Um exemplo é a empresa Natura®, em sua sede Cajamar/SP, que possui a maior instalação do mundo de OPV (do inglês OrganicPhotovoltaics). É a terceira geração de tecnologia de células solares: através de uma produção totalmente sustentável. Segundo o site da empresa SUNEW (2020), startup mineira, são ao todo 1800 m² de filmes fotovoltaicos orgânicos, produzidos a partir de materiais orgânicos, não tóxicos e recicláveis.

“Nós temos refil, o planeta não”. (Natura, 2019).

O slogan chama atenção dos clientes sobre consciência e difunde ideias de como reaproveitar a embalagem após o uso.

2.4 INCINERADOR

O objetivo do incinerador é como complemento ao ciclo proposto e não como peça principal. É o processo de redução do peso, do volume e eliminação das características de periculosidade dos resíduos, através da combustão controlada, como descrito anteriormente destinado aos materiais contaminados e que não podem ser reciclados ou reutilizados. (CAIXETA, 2005)

Segundo Barros (2012), foram feitas várias tentativas com o incinerador no Brasil com processos de mera queima, o que tem contribuído pela rejeição ao sistema. A incineração permite recuperação da energia, o vapor produzido através do

resfriamento dos gases de combustão é aproveitado para geração de energia elétrica, aquecimento industrial ou calefação domiciliar. As cinzas resultantes do processo podem ser usadas para correção dos solos em aterros ou como agregado na composição de recapeamento asfáltico.

Os parâmetros de temperatura devem ser controlados para que as câmaras tenham temperatura superior a 800° C, os gases monóxido de carbono (CO) e oxigênio (O₂) devem ser medidos continuamente, conforme regulamenta a CONAMA 316/2002.

Portanto, é importante salientar quanto ao planejamento envolvido e que estudos aprofundados e testes que comprovem as melhores alternativas precisam ser feitos, aliados a questão de controle que é fundamental desde o início ao final do ciclo.

3. METODOLOGIA

O presente artigo apresenta um sistema baseado em um conjunto que possa funcionar de forma simplificada e em harmonia entre sociedade e uma instituição pública ou privada capaz de colaborar para o sucesso do todo. Foi realizado um levantamento teórico, e que a partir dele surgiram algumas lacunas sobre a participação da sociedade que é peça chave neste conjunto. Portanto, esta pesquisa pode ser classificada como bibliográfica na primeira parte onde buscamos encontrar informações de países que já adotaram um modelo semelhante e buscamos aprimorar o processo corrigindo algumas falhas nos processos encontrados, e quantitativa/qualitativa na segunda, onde se apresentam os resultados coletados a partir de entrevistas sobre a opinião das pessoas sobre o tema em questão.

A pesquisa foi realizada com entrevistas em campo na região do Barreiro, em Belo Horizonte/MG, Brasil, sendo uma parte realizada em áreas coletivas e outra parte em áreas públicas. Além desta metodologia *in loco*, foi adotado o formulário eletrônico pela plataforma do Google Drive®, que por sua vez foi encaminhado para o público em geral residentes nesta região. O objetivo fim era de atingir diferentes opiniões, diferentes classes sociais, sexo ou escolaridade. O rol de entrevistados foi de 239 pessoas.

Alguns questionamentos sobre como as pessoas se comportariam ante a proposta surgiram no decorrer da coleta de dados sobre o assunto, como os mesmos se comportariam ao serem convidados a participar, e se estavam preparados para tarefa proposta.

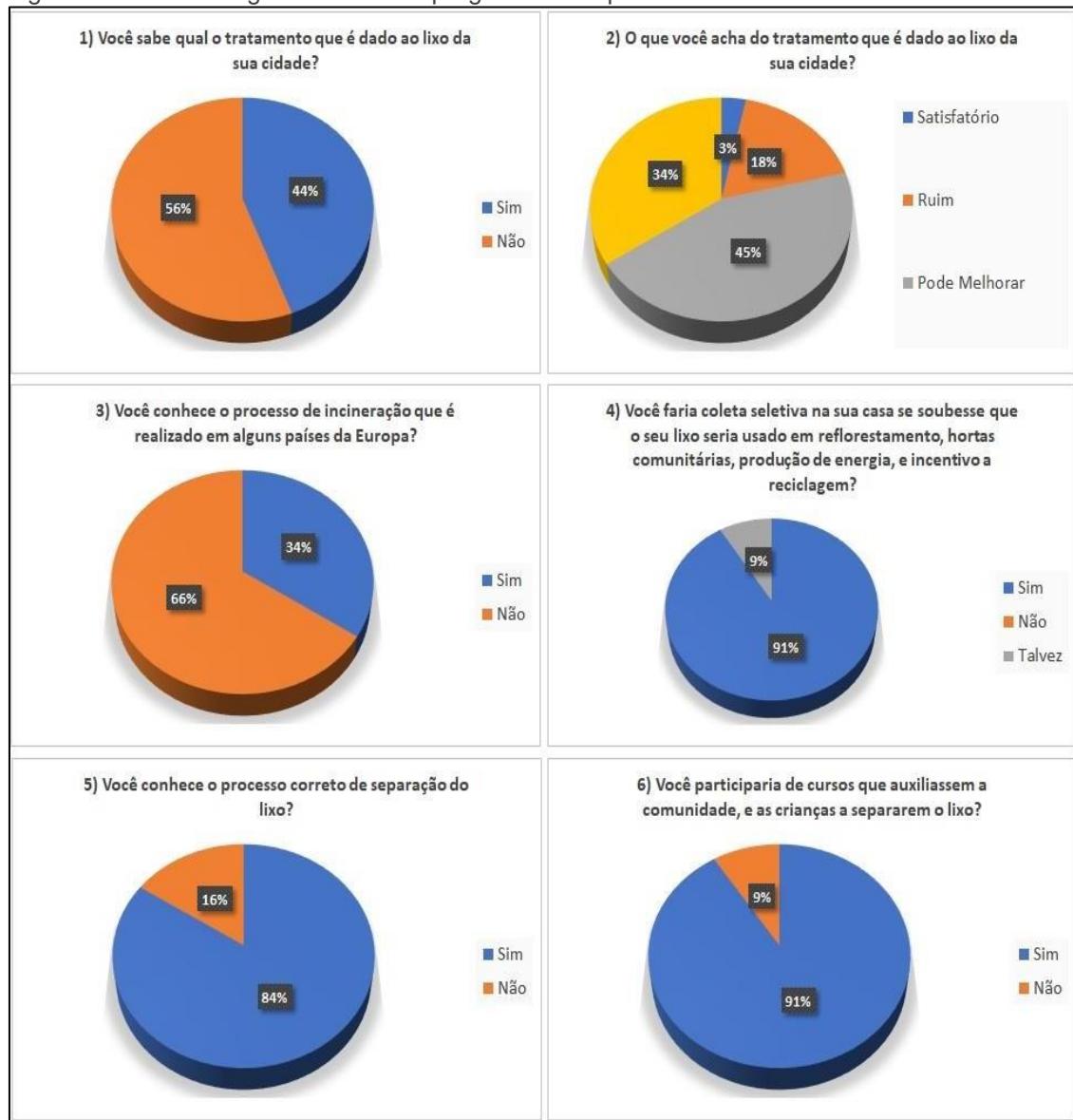
Posteriormente, foram gerados gráficos e discussões dos dados, partindo dos resultados encontrados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 QUESTIONÁRIOS DAS ENTREVISTAS E RESULTADOS GRÁFICOS

A figura 2 ilustra os resultados obtidos partindo das perguntas realizadas aos entrevistados.

Figura 2: Resultados gráficos com as perguntas e respostas



Fonte: Autores, 2018.

4.2 ANÁLISE DOS GRÁFICOS

A maioria dos entrevistados, cerca de 56%, disseram que não sabem que tipo de tratamento que é dado ao lixo de sua cidade e 45% responderam que acreditam na possibilidade de melhorar este tratamento. Esse resultado mostra a importância

que através de cursos, treinamentos, procedimentos e oficinas sobre o tratamento de resíduos é de essencial importância na participação ativa da população, pois estes percentuais são relevantes e englobam uma quantidade substancial de pessoas não entendidas sobre o processo.

A pergunta 3 ilustra graficamente que cerca de dois terços da população não conhecem sobre o processo de tratamento do lixo na Europa, porém, na pergunta 4, 91% afirmaram que estariam dispostos a participar da coleta seletiva, ou seja, constitui de um índice de suma importância para o processo. Além disso, 84% confirmam que sabem como fazer a separação do lixo, conforme pergunta 5.

A última pergunta comprova por fim que 91% da população está disposta a auxiliar as pessoas que não sabem como proceder a separação do lixo. Ou seja, a população não conhece do processo de tratamento, porém uma grande parte tem conhecimento sobre a separação e disponibilidade para ensinar este processo.

4.3 MODELO PROPOSTO

A produção de lixo tem como principal origem as residências, indústrias, empresas em geral, limpeza de praças e áreas públicas, lixo hospitalar, etc. O sistema proposto inicia na separação desses materiais de forma correta, em cada um desses setores. Dessa forma, diminui-se a quantidade de matéria que possa vir a se contaminar.

A etapa seguinte consiste na realização da coleta seletiva todo o material coletado, que seguirá para os galpões onde serão revisados e separados de acordo com suas principais características para a inicialização do processo.

O lixo orgânico poderá ser usado para diversas finalidades. Após a compostagem, que é um tipo de decomposição anaeróbica controlada, pode-se usar adubo orgânico em construção de hortas comunitárias, utilizado em reflorestamento de áreas devastadas.

Metal, plástico, vidro e papel poderão ser levados para usinas de reciclagem mais próximas ou doadas para cooperativas que trabalham com artesanato.

Enfim, os contaminados que não poderão seguir os passos anteriores, serão encaminhados para o incinerador para que seja feita a secagem desse material e, logo após a incineração, durante esse processo, haverá coleta de vapor e produção de energia elétrica, e a transformação das cinzas resultantes em novos produtos que poderão ser usados na construção civil. Os processos de quantidade de material e resultados dessa etapa estão em processo de análise de custos e laboratoriais bem

como a capacidade ideal do incinerador, visto que é um processo delicado que precisa ser realizado uma longa etapa de planejamento nessa fase, segundo estudos em andamento no Centro Universitário UNA em parceria com a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e com a Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

5. CONCLUSÃO

Portanto, conclui-se que os objetivos deste artigo foram atingidos, e que há uma viabilidade técnica substancial para implantação deste sistema na cidade de Belo Horizonte, pois foi possível observar que as pessoas contribuiriam para o sucesso deste projeto.

É importante salientar que iniciativas públicas e privadas seriam essenciais para esta implantação, que tende a ocorrer gradativamente e precisaria respeitar cada parte do ciclo de tratamento e separação do lixo.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, Maria Teresa; ALMEIDA, Manuela. Construção sustentável: contributo das ferramentas de avaliação. 1^a Ed. Curitiba: Editora CRV, 2016.

BARROS, Rafael Tobias de Vasconcelos. Elementos de resíduos sólidos. Belo Horizonte: Tessitura, 2012.

CAIXETA, Dalma Maria. Geração de energia elétrica a partir da incineração de lixo urbano: O caso de Campo Grande/MS. 86 p. 297 mm, (UnB-CDS, Especialização, Resíduos Sólidos, 2005).

COLLINS, Jim; HANSEN, Morten T. Vencedoras por opção. 1^a.ed. São Paulo. HSM Editora, 2012.

CONAMA nº 316, de 29 de outubro de 2002. Disponível em: <<http://proteger.gov.br/biblioteca/legislacoes/33-resolucao-conama-n-316-2002>>. Acesso em: 08 fev. 2020.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Lei nº12.305/10. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/pol%C3%ADtica-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos>>. Acesso em: 05 fev.2020.

NATURA. Disponível em: <https://www.natura.com.br/blog/sustentabilidade/movimento-refil-saiba-como-essa-pratica-de-consumo-pode-ajudar-o-planeta?raccoon_param1=institucional-conteudos&raccoon_param2=movimentorefil&cnddefault=true&gclid=EAIaIQobChMlhZS7IKbC5wIVS4CRCh1wDwrUEAAYASAAEgIZPD_BwE>. Acesso em: 08 fev. 2020.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. PBH-SLU: Sistema de limpeza urbana. Belo Horizonte, 2018. Disponível em: <prefeitura.pbh.gov.br>. Acesso em:20 jan.2018.

SUNEW. Sunew, em parceria com a Natura, entrega a maior instalação do mundo de filmes solares de última geração. Disponível em:<<https://sunew.com.br/blog/sunew-em-parceria-com-a-natura-entrega-a-maior-instalacao-do-mundo-de-filmes-solares-de-ultima-geracao/>>. Acesso em: 08 fev. 2020.

CAPÍTULO 03

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE MÉTODOS SEMIEMPÍRICOS DE PREVISÃO DE CAPACIDADE DE CARGA GEOTÉCNICA APLICADOS A ESTACAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO ASSENTES EM ARGILA ARENOSA

Armando Belato Pereira

Doutorando em Geotecnia pela Universidade Federal de Ouro Preto

Instituição: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Endereço: Avenida dos Imigrantes, nº 1000 - Vargem, Varginha-MG, Brasil

E-mail: armandobelato@cefetmg.br

Thiago Bomjardim Porto

Doutor em Geotecnia pela Universidade Federal de Ouro Preto

Instituição: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Endereço: Raymundo Mattoso, 900 – Santa Rita, Curvelo-MG, Brasil

E-mail: thiago.porto@cefetmg.br

Romero César Gomes

Doutor em Geotecnia pela Universidade de São Paulo

Instituição: Universidade Federal de Ouro Preto

Endereço: Universidade Federal de Ouro Preto, Campus Universitário Morro do Cruzeiro, Núcleo de Geotecnia – Bauxita, Ouro Preto-MG, Brasil

E-mail: romero@em.ufop.br

Raphael Lúcio Reis dos Santos

Doutorando em Engenharia Civil pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Instituição: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Endereço: Avenida dos Imigrantes, nº 1000 - Vargem, Varginha-MG, Brasil

E-mail: raphael.santos@cefetmg.br

João Marcos Guimarães Rabelo

Mestre em Engenharia de Estruturas pela Universidade Federal de Minas Gerais

Instituição: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Endereço: Avenida dos Imigrantes, nº 1000 - Vargem, Varginha-MG, Brasil

E-mail: joaomarcos@cefetmg.br

RESUMO: Esta pesquisa apresenta um estudo acerca do desempenho de métodos semiempíricos com base em ensaios do tipo Standard Penetration Test (SPT) para a previsão de capacidade de carga geotécnica amplamente difundidos na prática da Engenharia de Fundações brasileira - Aoki e Velloso (1975, modificado), Décourt e Quaresma (1978, 1996) e Teixeira (1996) - aplicados à estacas pré-moldadas de concreto assentes em argila arenosa na região de Uberlândia-MG. Para a análise de desempenho tomou-se como valores de resistência de ponta, resistência lateral e de capacidade de carga geotécnica de referência aqueles mobilizados nos ensaios de carregamento dinâmico ("provas de carga dinâmicas") realizados em dez (10) estacas e comparou-se tais resultados com os obtidos via métodos semiempíricos. De

maneira geral, os métodos apresentaram bom desempenho com resultados relativamente consistentes tomando como referência aqueles obtidos via ensaios de carregamento dinâmico.

PALAVRAS CHAVE: Engenharia de Fundações, Capacidade de carga de estacas, Métodos semiempíricos, SPT, Ensaio de carregamento dinâmico.

ABSTRACT: This research presents a study about the performance of semiempirical methods based on Standard Penetration Test (SPT) for the prediction of bearing capacity widely spread in the practice of Brazilian Foundation Engineering - Aoki and Velloso (1975, modified), Décourt and Quaresma (1978, 1996) and Teixeira (1996) - applied to precast concrete piles based on sandy clay in the region of Uberlândia-MG. For the performance analysis, the values of tip resistance, shaft resistance and bearing capacity reference values were those mobilized in the dynamic loading tests performed in ten (10) piles and compared these results are similar to those obtained via semiempirical methods. Overall the methods performed well with relatively consistent results taking as reference those obtained via dynamic loading tests.

KEYWORDS: Foundation Engineering, Piles bearing capacity, Semiempirical methods, SPT, Dynamic loading test.

1. INTRODUÇÃO

Embora exista, no meio técnico da Engenharia de Fundações, uma série de metodologias para o cálculo da capacidade de carga geotécnica de fundações profundas, esta não é uma tarefa simples, uma vez que, para tanto, é preciso avaliar previamente o mecanismo de transferência de carga estaca/solo (interação estaca/solo). Reforçando a não trivialidade da obtenção da capacidade de carga geotécnica, salienta-se que esta é função de uma série de variáveis, entre as quais se destacam: metodologia executiva da estaca, tipologias de solo ao longo do fuste e na ponta, parâmetros geométricos etc. Nesse contexto, inserem-se os métodos semiempíricos de previsão de capacidade de carga geotécnica com base em dados do ensaio *Standard Penetration Test* (SPT).

Velloso e Lopes (2010, p. 262) citam que:

[...] em nosso país, a sondagem (com realização do SPT) é a investigação geotécnica mais difundida e realizada, assim expressa por Milititsky (1986): ‘A Engenharia de fundações no Brasil pode ser descrita como a Geotecnia do SPT. Por isso, há muito tempo, os profissionais de fundações têm a preocupação de estabelecer métodos de cálculo da capacidade de carga de estacas utilizando os resultados das sondagens a percussão’.

Aviz (2006, p. 35) ressalta que “[...] o ensaio de penetração dinâmica SPT (*Standard Penetration Test*) é muito usado na engenharia de fundações brasileira. Em muitos casos, constitui- se na única informação sobre as propriedades do solo disponível ao engenheiro responsável pelo projeto”. Conforme Lobo (2005, p. 7), “[...] como o ensaio SPT é geralmente o único ensaio de campo

disponível, difundiu-se no Brasil a prática de relacionar medidas de NSPT diretamente com a capacidade de carga”.

Para Schnaid e Odebrecht (2012), os métodos semiempíricos são ferramentas valiosas da Engenharia de Fundações, porém, ressaltam a importância de se reconhecer a limitação de sua validade em relação à prática construtiva regional e às condições específicas dos casos históricos utilizados no seu desenvolvimento. Alledi (2013) ainda aponta que tais métodos se constituem a principal forma de se estimar o comprimento das estacas e, consequentemente, de prever o custo de uma obra antes da sua realização.

Ao projetista de fundações cabe determinar os parâmetros geotécnicos do solo pertinentes aos métodos semiempíricos de forma que possa prever a capacidade de carga geotécnica dos elementos de fundação. Esta capacidade de carga geotécnica prevista pode e deve ser validada em campo, especialmente por provas de carga

estáticas e/ou ensaios de carregamento dinâmicos, conforme orientação da NBR 6122 (ABNT, 2019).

Diante do exposto, o presente artigo busca avaliar o desempenho de métodos semiempíricos com base em ensaios do tipo SPT para a previsão de capacidade de carga geotécnica amplamente difundidos na prática da Engenharia de Fundações brasileira ancorados na literatura de Aoki e Velloso (1975), Décourt e Quaresma (1978, 1996) e Teixeira (1996) aplicados a estacas pré-moldadas de concreto assentes em argila arenosa na região de Uberlândia-MG. Para a análise de desempenho tomou-se como valores de resistência de ponta, resistência lateral e de capacidade de carga geotécnica de referência aqueles mobilizados nos ensaios de carregamento dinâmico (“provas de carga dinâmicas”) e comparou-se tais resultados com os obtidos via métodos semiempíricos.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO

2.1 CAPACIDADE DE CARGA GEOTÉCNICA DE UMA ESTACA DE FUNDAÇÃO

De uma forma geral, pode-se dizer que a capacidade de carga geotécnica representa o limiar da ruptura do sistema formado pelo elemento estrutural (estaca) e pelo elemento geotécnico ou maciço que envolve a estaca (CINTRA e AOKI, 2010), ou seja, o valor da força correspondente à máxima resistência que o sistema pode oferecer na condição de ruptura, no âmbito geotécnico.

A expressão geral (Equação 1) da capacidade de carga (R) de elementos de fundação em estaca evidencia dois conjuntos de variáveis: as variáveis geométricas da estaca dadas pelo perímetro (U), o comprimento do segmento (ΔL) e a área da seção transversal da ponta da estaca (A_p) e as variáveis geotécnicas dadas pela tensão mobilizada na ponta (r_p) e as tensões laterais mobilizadas nos segmentos que compõem o fuste da estaca (r_L).

$$R = U \cdot \sum(r_L \cdot \Delta L) + r_p \cdot A_p \quad (1)$$

Na prática da Engenharia de Fundações brasileira são encontrados vários métodos semiempíricos de cálculo, entre os quais destacam-se três, já amplamente difundidos e que serão aplicadas neste trabalho: Aoki e Velloso (1975, modificado), Décourt e Quaresma (1978, 1996) e Teixeira (1996).

2.2 MÉTODOS SEMIEMPÍRICOS

Amann (2010) define os métodos semiempíricos como aqueles que podem ser definidos como aqueles que partem de formulações teóricas e se complementam com o estabelecimento das tensões máximas de atrito e de ponta obtidas a partir de correlações empíricas com ensaios de campo. Assim, pode-se afirmar que os ensaios de campo, ou as sondagens, são parte essencial dos métodos semiempíricos.

Os métodos consolidados como semiempíricos ajustam suas equações aos mais diversos tipos de solo sob os quais as estacas penetram, assim como ao processo executivo da estaca, tendo em vista que ele altera as condições iniciais do terreno como os seguintes parâmetros: o ângulo de atrito da interface solo/estaca, a tensão horizontal que age sobre a estaca, a adesão solo/estaca e a dimensão da área de contato. Os métodos semiempíricos levam em consideração tais perturbações nas condições iniciais por meio dos coeficientes empíricos tanto para os diferentes tipos de solo como para os variados processos executivos disponíveis para a confecção das estacas de fundação profunda (PÉREZ, 2014).

A seguir, são apresentados métodos semiempíricos fundamentados nos ensaios de campo do tipo SPT que serão empregados no presente artigo.

2.2.1 MÉTODO DE AOKI E VELLOSO (1975, MODIFICADO)

O método de Aoki e Velloso (1975) é considerado o primeiro método semiempírico brasileiro e foi concebido, originalmente, a partir da comparação de resultados de prova de carga em estacas com resultados de ensaios de penetração estática (cone).

O método propõe que a capacidade de carga de um elemento de estaca de fundação isolado pode ser estimada pela seguinte formulação semiempírica:

$$R = \frac{K \cdot N_p}{F_1} \cdot A_p + \frac{U}{F_2} \cdot \sum_{i=1}^n (\alpha \cdot K \cdot N_{L_i} \cdot \Delta L_i) \quad (2)$$

Onde:

K = coeficiente de conversão que estabelece a proporcionalidade entre a resistência de ponta unitária; NP = valor de NSPT considerado como representativo da ponta da estaca (NSPT ao nível da ponta);

F₁ = fator de conversão (escala e tipo de estaca) aplicado à parcela referente à resistência de ponta; AP = área de ponta ou base da estaca;

U = perímetro da estaca;

F_2 = fator de conversão (escala e tipo de estaca) aplicado à parcela referente à resistência lateral;

α = razão de atrito, ou seja, coeficiente que correlaciona o atrito local do cone com a ponteira e a tensão de ponta da estaca;

N_{Li} = valor médio do NSPT correspondente a cada segmento (ΔL_i) de estaca;

ΔL_i = comprimento de cada segmento de estaca discretizado.

Os autores comentam que, na determinação de N_L e N_P , os valores de NSPT maiores que 50 devem ser considerados iguais a 50.

Os fatores de correção F_1 e F_2 foram inicialmente obtidos por intermédio da publicação do método, em 1975, com base em 63 provas de carga realizadas em vários estados do Brasil (AOKI e CINTRA, 2010). Velloso e Lopes (2010) reforçam que, nos anos 1970, quando o método foi proposto, foram introduzidas as estacas tipo raiz e não se executavam ainda estacas tipo hélice, portanto, após a publicação do método surgiram aprimoramentos para estes fatores, os quais são contemplados na Tabela 1, a seguir.

Tabela 1: Fatores de correção F_1 e F_2 atualizados

Tipo de estaca	F_1	F_2
Franki	2,50	2F1
Metálica	1,75	2F1
Pré-moldada	1+D/0,80	2F1
Escavada	3,00	2F1
Raiz, hélice contínua e ômega	2,00	2F1

Fonte: (AOKI e CINTRA, 2010).

Schnaid e Odebrecht (2012) reforçam que os coeficientes de conversão K e α são variáveis dependentes do tipo de solo, assumindo diferentes valores segundo suas características granulométricas, ou seja, tais coeficientes são função do tipo de solo. Segundo Aoki e Cintra (2010), os valores de K e α apresentados na Tabela 2 foram propostos pelos autores do método com base em sua experiência e em valores de literatura.

Tabela 2: Coeficientes de conversão K e razões de atrito α

Solo	K (MPa)	α (%)
Areia	1,00	1,4
Areia siltosa	0,80	2,0
Areia siltoargilosa	0,70	2,4
Areia argilosa	0,60	3,0
Areia argilossiltosa	0,50	2,8
Silte	0,40	3,0
Silte arenoso	0,55	2,2
Silte arenoargiloso	0,45	2,8
Silte argiloso	0,23	3,4
Silte argiloarenoso	0,25	3,0
Argila	0,20	6,0
Argila arenosa	0,35	2,4
Argila arenossiltosa	0,30	2,8
Argila siltosa	0,22	4,0
Argila siltoarenosa	0,33	3,0

Fonte: (AOKI e VELLOSO, 1975).

Décourt, Albiero e Cintra (1996, p. 275) ressaltam que “[...] a maior dificuldade para a correta aplicação desse método é a necessidade da perfeita caracterização do tipo de solo envolvido, o que na prática é quase impossível de se conseguir”.

2.2.2 MÉTODO DE DÉCOURT E QUARESMA (1978, 1996)

Inicialmente, Luciano Décourt e Arthur R. Quaresma apresentaram um método de avaliação da capacidade de carga de estaca pré-moldada (também chamada de estaca referência ou padrão) com base nos valores N (N_{SPT}) do ensaio SPT (DÉCOURT e QUARESMA, 1978). O método ganhou grande notoriedade a partir de 1982, conforme descrevem Aoki e Cintra (2010), por ocasião do *Second European Symposium on Penetration Test (ESOPT II)* () ocorrido em Amsterdã. Na ocasião foi promovido um “concurso” para previsão de capacidade de carga de um elemento isolado de fundação em estaca e o citado método apresentou o resultado mais próximo daquele obtido por prova de carga, sendo, então, premiado pelo feito.

Amann (2010) cita que o método passou por uma série de ajustes para que fosse possível a inclusão de outros tipos de estaca e coeficientes de ajuste do tipo de solo. Portanto, será apresentada a versão do método consolidada por Décourt (1996) que propõe que a capacidade de carga de um elemento de estaca de fundação isolado

pode ser estimada pela seguinte formulação semiempírica:

$$R = \alpha \cdot C \cdot \overline{N_p} \cdot A_p + \beta \cdot 10 \cdot \left(\frac{\overline{N_L}}{3} + 1 \right) \cdot U \cdot L \quad (3)$$

Onde:

C = Coeficiente característico do solo – Tabela 3;

N_p = Valor médio do índice de resistência à penetração na ponta ou base da estaca, obtido a partir de três valores: o correspondente ao nível da ponta, o imediatamente anterior (1m acima) e o imediatamente posterior (1m abaixo);

N_L = Valor médio do índice de resistência à penetração do SPT ao longo do fuste (a expressão independe do tipo de solo). No cálculo de N_L não se consideram os valores que serão utilizados na avaliação da resistência de ponta. Deve ser observado o seguinte limite quando ao N_{SPT} considerado: $3 \geq N_L \leq 50$, ou seja, valores médios menores que 3 deverão ser considerados iguais a 3 e valores médios maiores que 50 deverão ser considerados 50.

α e β = Fatores introduzidos no método por Décourt (1996) e representam coeficientes empíricos de correção dados em função do tipo de estaca e de solo, respectivamente aplicados na parcela de resistência de ponta e lateral. Tais fatores são apresentados na Tabela 4.

U = Refere-se ao perímetro da seção transversal da estaca.

L = Ao seu comprimento total.

Tabela 3: Valores do coeficiente C em função do solo.

Tipo de solo	C (kN/m ²)
Argilas	120
Silte argiloso (residual)	200
Silte arenoso	250
Areia	400

Fonte: (DÉCOURT, 1996).

Tabela 4: Coeficientes empíricos de correção α e β em função do tipo de solo e estaca

Tipo de solo	Coeficiente	Escavadas em geral	Escavada (bentonita)	Hélice contínua	Estaca raiz	Injetadas sob altas pressões
Argilas	α	0,85	0,85	0,30	0,85	1,00
	β	0,80	0,90	1,00	1,50	3,00
Solos intermediários	α	0,60	0,60	0,30	0,60	1,00
	β	0,65	0,75	1,00	1,50	3,00
Areias	α	0,50	0,50	0,30	0,50	1,00
	β	0,50	0,60	1,00	1,50	3,00

Fonte: (DÉCOURT, 1996, adaptada).

Cabe a observação de que como o método foi desenvolvido com base na estaca pré-moldada (estaca referência ou padrão), para esse tipo de estaca os coeficientes α e β são iguais a 1.

Silveira (2002) apresenta sugestões para os valores do coeficiente característico do solo (C) e para os coeficientes empíricos de correção dados em função do tipo de estaca e de solo (α e β) não contemplados, inicialmente, pelo método de Décourt e Quaresma (1978, 1996), conforme as Tabela 5 e 6, respectivamente.

Tabela 5: Valores do coeficiente C em função do solo

Tipo de solo	C (kN/m ²)
Argila siltosa	110
Argila arenosa	120
Silte argiloso	200
Silte arenoso	250
Areia argilosa	350
Areia siltosa	350
Areia	400
Areia com pedregulhos	400

Fonte: (SILVEIRA, 2002).

Tabela 6: Coeficientes empíricos de correção α e β em função do tipo de solo e estaca

Tipo de solo	Coeficiente	Pré-moldada (concreto e aço)	Franki	Hélice contínua	Escavada sem revestimento	Escavada com revestimento ou lama	Raiz
Argila siltosa	α	1,00	1,00	0,85	0,85	0,85	0,85
	β	1,00	1,00	1,00	0,80	0,90	1,30
Argila arenosa	α	1,00	1,00	0,85	0,85	0,85	0,85
	β	1,00	1,00	1,00	0,80	0,90	1,30
Silte argiloso	α	1,00	1,00	0,60	0,60	0,60	0,60
	β	1,00	1,00	1,00	0,65	0,75	1,20
Silte arenoso	α	1,00	1,00	0,60	0,60	0,60	0,60
	β	1,00	1,00	0,90	0,65	0,75	1,20
Areia argilosa	α	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50
	β	1,00	1,00	0,80	0,50	0,60	1,10
Areia siltosa	α	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50
	β	1,00	1,00	0,80	0,50	0,60	1,10
Areia	α	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50
	β	1,00	1,00	0,70	0,50	0,60	1,00
Areia com pedregulhos	α	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50
	β	1,00	1,00	0,70	0,50	0,60	1,00

Fonte: (SILVEIRA, 2002).

2.2.3 MÉTODO DE TEIXEIRA (1996)

O método proposto por Teixeira (1996) para previsão de capacidade de carga de estacas foi apresentado no 3º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia (SEFE III). Conforme Schulze (2013), Teixeira (1996) teve como base para a formulação de seu método os estudos desenvolvidos por Aoki e Velloso (1975) e Décourt e Quaresma (1978), apresentados anteriormente. O autor adotou parâmetros de correção α e β , aplicados à resistência de ponta e à resistência lateral da estaca, respectivamente, para o cálculo da capacidade de carga de um sistema solo/estaca e, com isso, propôs uma espécie de equação unificada (AOKI e CINTRA, 2010), apresentada a seguir:

$$R = \alpha \cdot \overline{N_p} \cdot A_p + \beta \cdot \overline{N_L} \cdot U \cdot L \quad (4)$$

Onde:

α = parâmetro de ajuste do método relativo à resistência de ponta, dado em função do tipo de solo e do tipo de estaca (valores apresentados na Tabela 7);

N_p = valor médio do índice de resistência à penetração na ponta medido no intervalo de 4 diâmetros acima da ponta da estaca e 1 diâmetro abaixo;

N_L = valor médio do índice de resistência à penetração do SPT ao longo do fuste da estaca.

B = parâmetro de ajuste do método relativo à resistência lateral, dado em função do tipo de estaca (valores apresentados na Tabela 7).

Tabela 7: Coeficientes α e β

Coeficiente de correção	Solo	Tipos de estaca*			
		I	II	III	IV
Valores de α (kN/m^2) em função do tipo de solo e estaca ($4 < N < 40$)	Argila siltosa	110	100	100	100
	Silte argiloso	160	120	110	110
	Argila arenosa	210	160	130	140
	Silte arenoso	260	210	160	160
	Areia argilosa	300	240	200	190
	Areia siltosa	360	300	240	220
	Areia	400	340	270	260
	Areia com pedregulhos	440	380	310	290
Valores de β (kN/m^2) em função do tipo de estaca		4	5	4	6

* Tipos de estaca: I – Estacas pré-moldadas de concreto e perfis metálicos; II – Estacas tipo Franki; III – Estacas escavadas a céu aberto; IV – Estacas raiz

Fonte: (TEIXEIRA, 1996, adaptada).

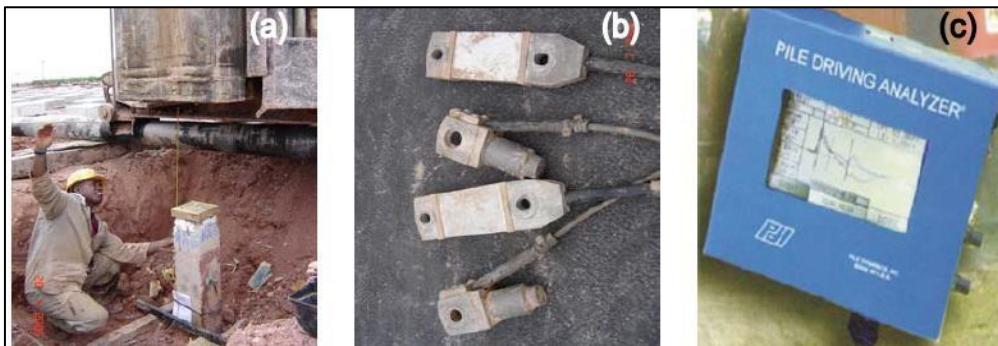
2.3 ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO

Nos ensaios de carregamento dinâmico (os quais serão utilizados neste trabalho) o carregamento é aplicado por meio de golpes de um sistema de percussão e, com base na teoria da equação da onda unidimensional, é possível avaliar as resistências mobilizadas na interface solo- estaca (ABNT, 2007).

Conforme Avelino (2006), a aparelhagem utilizada no ensaio de carregamento dinâmico consiste basicamente no dispositivo de impacto para provocar a onda de tensão, que pode ser o próprio bate-estacas usado para a cravação de estacas (Figura 1 (a)), dispositivo para obtenção das respostas dinâmicas (sensores de deformação e aceleração) (Figura 1 (b)) e equipamento para aquisição registro e tratamento dos dados (Figura 1 (c)). No Brasil, normalmente, utiliza-se o *Pile Driving Analyzer* (PDA),

o qual consiste em um circuito eletrônico especial onde um microcomputador processa uma série de cálculos online durante cada golpe do martelo.

Figura 1: Aparelhagem para a realização do ensaio de carregamento dinâmico



Fonte: (AVELINO, 2006).

Por meio da análise *Case Pile Wave Analysis Program* (CAPWAP®), é possível, entre outras coisas, separar a parcela de resistência mobilizada na lateral e na ponta da estaca e, consequentemente, obter a capacidade de carga geotécnica da mesma. Essa análise é feita posteriormente em escritório a partir dos dados armazenados pelo PDA.

3. ESTUDO DE CASO

O desenvolvimento deste artigo está vinculado a dados e documentos reais, amparados por um case, de forma a dar sentido à teoria de confiabilidade aplicada à Engenharia de Fundações apresentada. Trata-se de um edifício multiuso e uma rampa de acesso ao mesmo (Figura 2), localizados na cidade de Uberlândia-MG.

Figura 2 – Vista lateral do edifício e da rampa de acesso

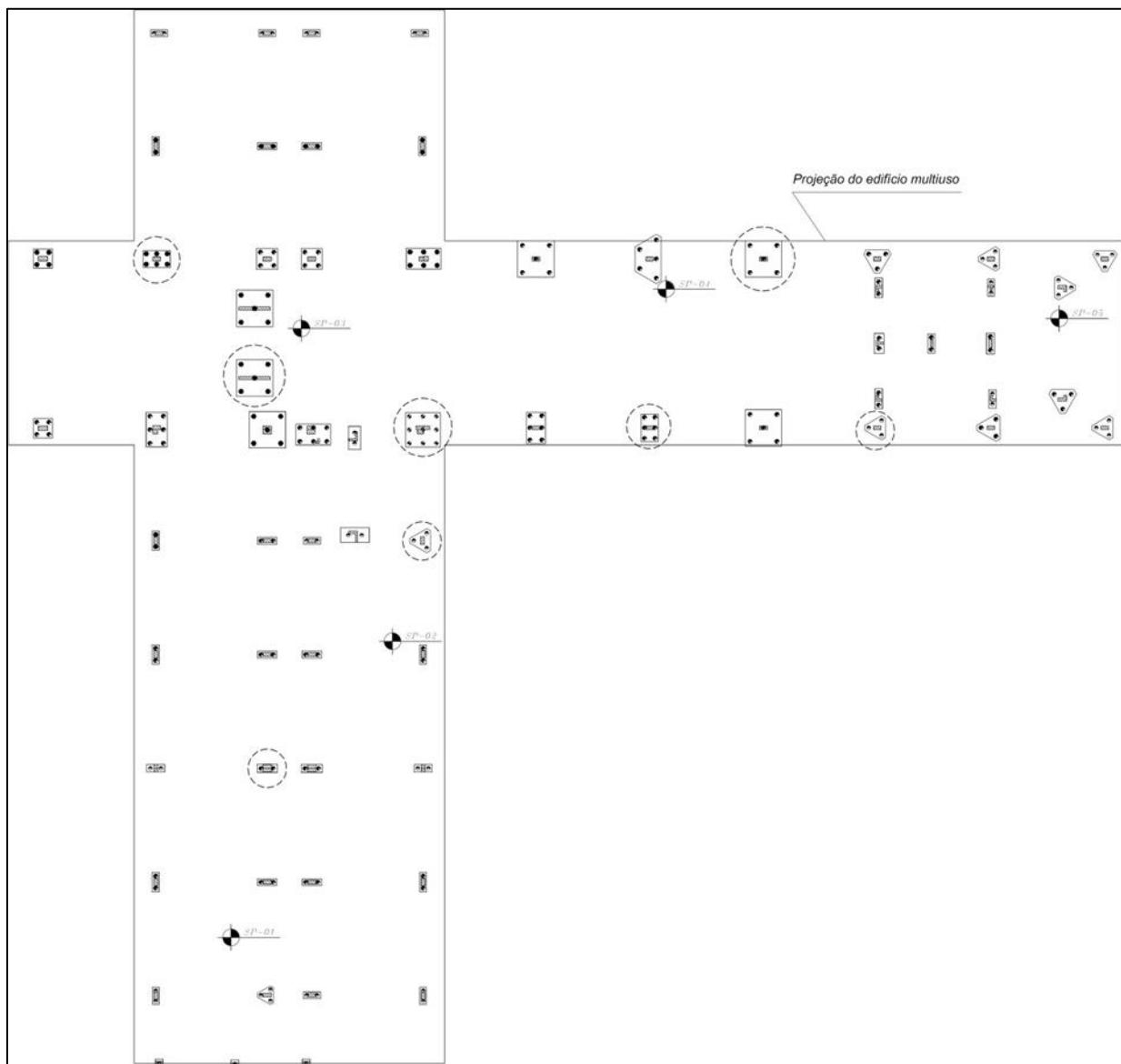


Fonte: (MESQUITA, 2019).

Para o projeto de fundações do edifício multiuso foram utilizadas 201 estacas do tipo pré- moldadas de concreto protendido e hexagonais de seção cheia (preenchida) denominadas P27, P31 e P34. Em tal denominação, a letra P indica

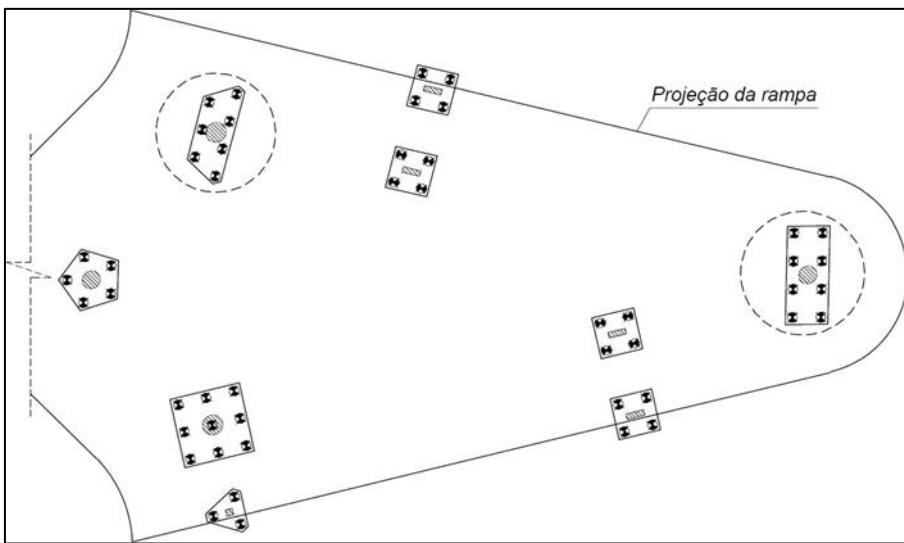
estaca poligonal e o número em sequência indica o comprimento da diagonal da estaca em centímetros. Para o projeto de fundações da rampa de acesso ao edifício foram adotadas 48 estacas pré-moldadas de concreto armado, circulares e de seção vazadas com diâmetro externo de 42 cm e diâmetro interno de 25 cm. As Figuras 3 e 4 representam, respectivamente, as plantas baixas dos projetos de fundações com indicação dos pontos onde foram feitas as sondagens do tipo SPT (SP-XX) e destaque dos blocos de coroamento os quais tiveram estaca submetida a ensaio de carregamento dinâmico.

Figura 3: Planta baixa do projeto de fundações do edifício multiuso.



Fonte: (PEREIRA, 2020 a).

Figura 4: Planta baixa do projeto de fundações do edifício multiuso.



Fonte: (PEREIRA, 2020 a).

3.1 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS

Segundo Andrade (2005), as unidades geológicas presentes na zona urbana de Uberlândia são as pertencentes à bacia sedimentar do Paraná, representadas pelas formações Serra Geral e Marília. A formação Serra Geral é caracterizada por rochas efusivas basálticas e por lentes pequenas de arenitos, intercaladas aos derrames. A formação Marília é constituída por arenitos com alta porcentagem de finos e minerais micáceos (muscovita) e conglomerados. Nishiyama (1989 apud ANDRADE, 2005, p. 47-48) comenta que:

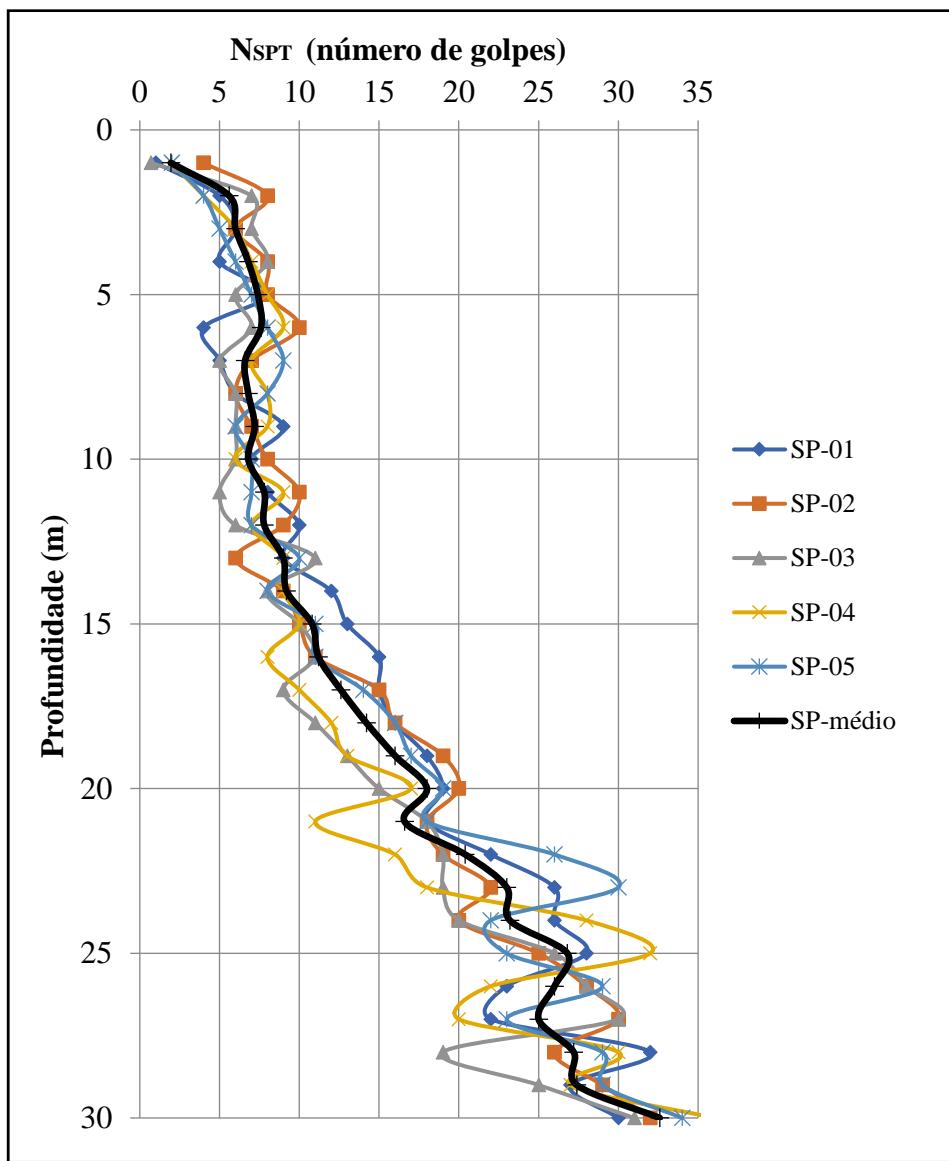
[...]as rochas sedimentares do Grupo Bauru e sedimentos cenozóicos formam, respectivamente, solos areno-argilosos e argilo-arenosos presentes nas áreas de topo, diferentemente dos basaltos da Formação Serra Geral, que propiciam o desenvolvimento de solos argilosos nas vertentes dos vales dos principais rios da região.

As características geológico-geotécnicas foram determinadas com base em resultados de sondagens à percussão do tipo SPT. Foram realizados cinco (05) furos de sondagem com 30 m de prospecção cada, na região de projeção da edificação.

Os resultados das cinco (5) sondagens SPT (SP-01 a SP-05) são apresentados na Figura 5 e nos permitem concluir que se trata de um solo relativamente homogêneo sob o ponto de vista de classificação, tratando-se de argila arenosa que oscila entre consistência mole a rija, o que nos permite concluir que se trata de uma mesma região representativa geotécnica, conforme o disposto na NBR 6122 (ABNT, 2019). A cota do início dos furos variou entre 936,21 m (mais alta) a 935,80 m (mais baixa), indicando pequeno desnível da ordem de 40 cm, justificando o fato de termos

considerado o terreno como sendo aproximadamente plano e os perfis de sondagem em um mesmo nível.

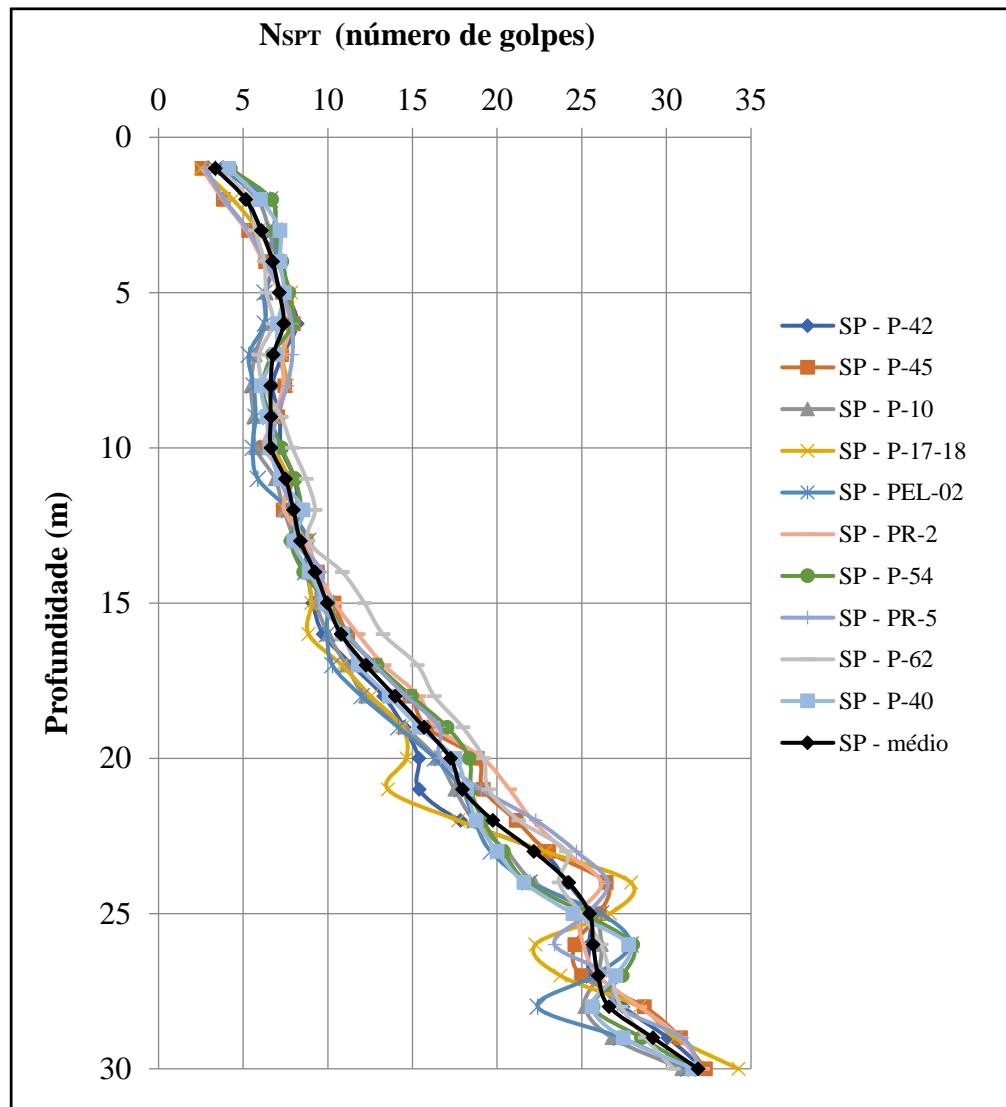
Figura 5 – Avanço dos NSPT's originais e dos SPT's médios em profundidade



Fonte: (PEREIRA, 2020).

Os dados de sondagem do tipo SPT utilizados na previsão da capacidade de carga geotécnica das estacas foram obtidos de maneira indireta com base em geoestatística, utilizando a técnica conhecida como krigagem ordinária e são apresentados na Figura 6. Para mais detalhes acerca do processo de obtenção destes dados sugere-se a leitura de Pereira (2020, a) e Pereira (2020, b).

Figura 6 – NSPT's representativos para cada pilar submetido a ECD obtidos via krigagem ordinária



Fonte: (PEREIRA, 2020).

3.2 ENSAIOS DE CARREGAMENTO DINÂMICO

O objetivo do ensaio de carregamento dinâmico é a avaliação da capacidade de carga mobilizada com a utilização do sistema CAPWAP®, aplicando os sinais de força mobilizada x velocidade obtidos em campo. Ao todo, foram ensaiadas dez (10) estacas componentes do projeto em estudo. Os dados pertinentes são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultados das análises via método CAPWAP® para os ensaios de carregamento dinâmico.

Identificação do pilar/bloco	Tipo de estaca	U	A	L	P _e	R _L	R _P	R
		cm	cm ²	m	kN	kN	kN	kN
P-42	P31	93	624	18,5	900	813	115	928
P-45	P27	81	474	18,5	700	550	124	674
P-10	P34	102	751	20,5	1050	566	335	901
P-17-18	P31	93	624	18,5	900	706	204	910
BEL-02	P34	102	751	20,5	1050	808	448	1256
B-40	P34	102	751	18,7	1050	862	288	1150
PR-2	Φ42	132	894*	16,5	1300	640	360	1000
P-54	P27	81	474	18,5	700	451	234	685
PR-5	Φ42	132	894*	16,5	1300	546	355	901
P-62	P31	93	624	18,5	900	389	271	660

Fonte: (PEREIRA, 2020 a).

*Área de seção preenchida por concreto, ou seja, desprezando-se a área vazada.

Onde:

ϕ = diâmetro externo da estaca (em cm);

U = perímetro;

A = área de seção transversal;

L = comprimento cravado;

P_e = carga admissível estrutural;

R_L = resistência lateral mobilizada ao longo do fuste da estaca;

R_P = resistência de ponta mobilizada na ponta da estaca;

R = capacidade de carga geotécnica da estaca.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os espectros de sondagem SPT obtidos via krigagem ordinária representativos para cada uma das estacas submetidas ao ensaio de carregamento dinâmico foram calculadas as resistências de ponta e lateral e, consequentemente, as capacidades de carga geotécnica para cada uma delas, via métodos clássicos semiempíricos, Aoki e Velloso (1975, modificado), Décourt e Quaresma (1978, 1996) e Teixeira (1996). Esses resultados foram comparados com as respectivas resistências de ponta e lateral, bem como resistências últimas mobilizadas (capacidades de carga geotécnicas) nos ensaios de carregamento dinâmico (ECD's) via metodologia CAPWAP® com a finalidade de se avaliar o desempenho dos citados métodos semiempíricos.

4.1 ANÁLISE DAS RESISTÊNCIAS MOBILIZADAS NAS PONTAS DAS ESTACAS

A Tabela 9 apresenta um comparativo entre as resistências de ponta obtidas via Aoki e Velloso (1975, modificado), Décourt e Quaresma (1978, 1996) e Teixeira (1996) e ensaios de carregamento dinâmico (ECD's).

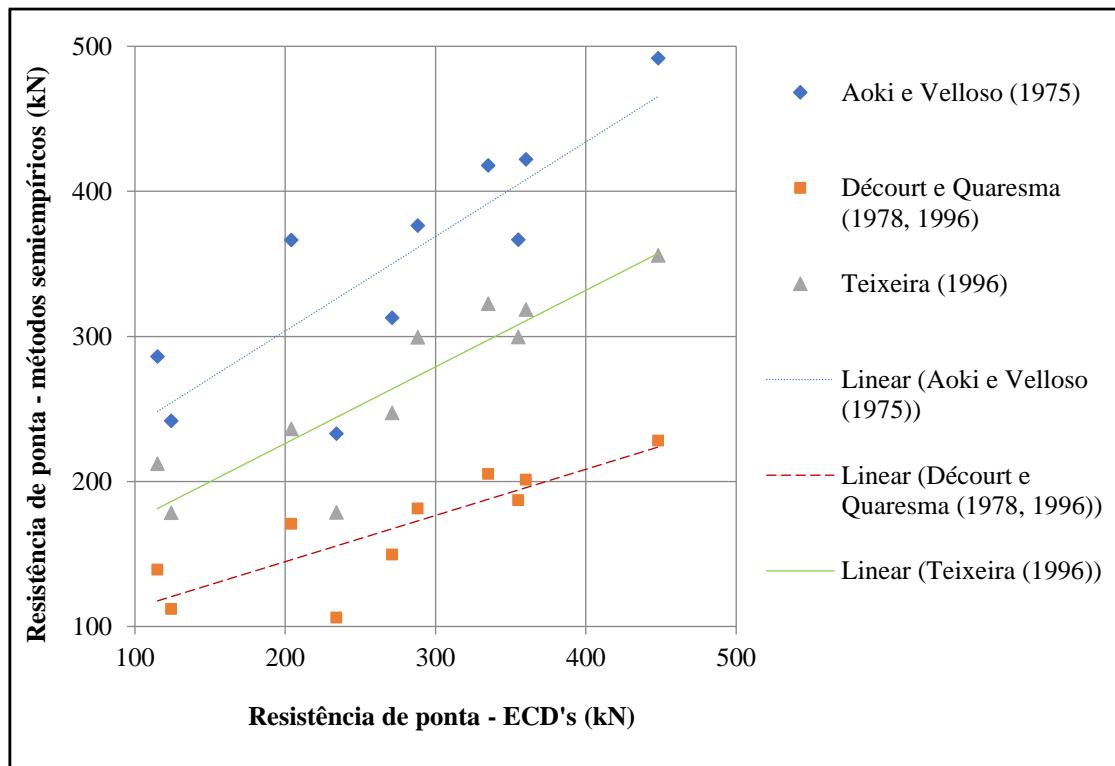
Tabela 9: Comparativo entre resistências de ponta (kN) obtidas via métodos semiempíricos e ECD's.

Identificação	Aoki e Velloso (1975, modificado)	Décourt e Quaresma (1978, 1996)	Teixeira (1996)	ECD
P-42	286,24	139,15	212,28	115,00
P-45	241,91	112,05	178,57	124,00
P-10	417,94	205,17	322,73	335,00
P-17-18-A	366,62	170,88	236,31	204,00
BEL-02	491,93	228,09	355,85	448,00
B40-A	376,53	181,32	299,44	288,00
PR2-A	422,19	201,22	318,66	360,00
P54-A	232,95	106,12	178,71	234,00
PR-5-A	366,66	187,10	299,63	355,00
P62-A	312,87	149,69	247,45	271,00

Fonte: (PEREIRA, 2020 a, adaptada).

A partir dos resultados apresentados na Tabela 7 foi construído o gráfico de dispersão (Figura 7) das resistências de ponta obtidas para cada um dos métodos e para cada uma das estacas ensaiadas, bem como suas respectivas retas de ajuste, em relação aos resultados de referência (aqueles obtidos via ensaio de carregamento dinâmico).

Figura 7 – Dispersão dos resultados de resistência de ponta via metodologias semiempíricas relacionados com os obtidos via ECD's.



Fonte: (PEREIRA, 2020 a, adaptada).

Uma vez definida a reta de ajuste, relacionando as resistências de ponta obtidas para cada um dos métodos e para cada uma das estacas ensaiadas, bem como suas respectivas retas de ajuste em relação aos resultados de referência, avaliou-se os coeficientes de determinação R^2 obtidos para cada uma das metodologias semiempíricas, os mesmos estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – R^2 obtido da relação estabelecida entre os resultados dos métodos semiempíricos e os ECD's para a resistência de ponta.

Método	Coeficiente de determinação - R^2
Aoki e Velloso (1975, modificado)	0,7014
Décourt e Quaresma (1978, 1996)	0,7032
Teixeira (1996)	0,8005

Fonte: (PEREIRA, 2020 a, adaptada).

Conforme evidenciado na Tabela 10, os coeficientes de determinação (R^2) obtidos para as metodologias clássicas são superiores a 0,70, em que se destacam o R^2 obtido para a metodologia de Teixeira (1996), ligeiramente superior a 0,80. Tais

resultados indicam, conforme afirmam Bisquerra *et al.* (2004) e Devore (2006), que há um forte poder de correlação entre os resultados de resistência de ponta obtidos via metodologias semiempíricas e os resultados obtidos via ECD's. Ou seja, em linhas gerais, podemos afirmar que os métodos Aoki e Velloso (1975, modificado), Décourt e Quaresma (1978, 1996) e Teixeira (1996) conduziram a resultados consistentes com os ECD's para a resistência de ponta.

Ressalta-se, aqui, a necessidade de cautela, pois, mesmo com uma tendência a resultados consistentes para a resistência de ponta, existem situações em que as metodologias semiempíricas podem conduzir a resultados bastante contrários a segurança. Para exemplificar, tomemos como exemplo o caso da estaca referente ao P-42 em que a resistência de ponta mobilizada de referência fora de 115,00 kN (conforme o ECD); enquanto que, para o método de Aoki e Velloso, seria de 286,24 kN (aproximadamente 149% maior); para o método de Teixeira seria de 212,28 kN (aproximadamente 85% maior) e, por fim, para o método de Décourt e Quaresma observou-se resultado mais comedido e mais coerente, da ordem de 139,15 kN (21% maior).

4.2 ANÁLISE DAS RESISTÊNCIAS LATERAIS MOBILIZADAS NOS FUSTES DAS ESTACAS

A Tabela 11 apresenta um comparativo entre as resistências laterais obtidas por meio dos métodos semiempíricos já descritos e ensaios de carregamento dinâmico (ECD's).

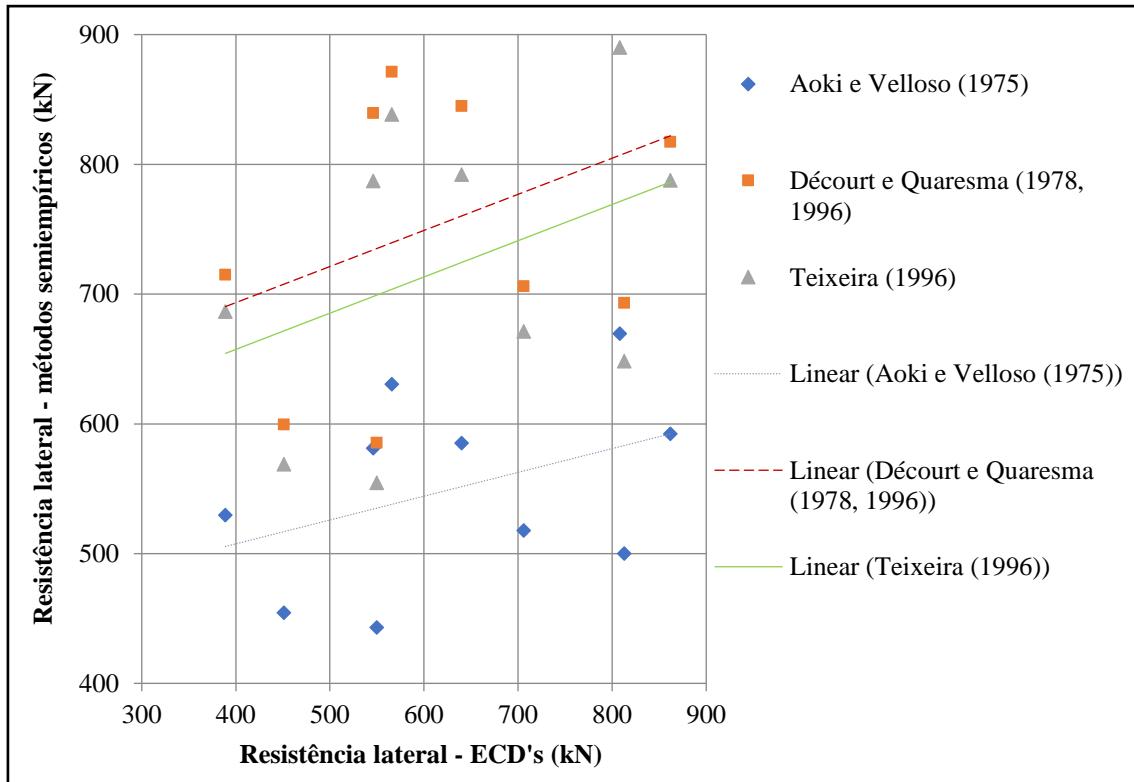
Tabela 11 – Comparativo entre resistência lateral (kN) obtida via métodos semiempíricos e ECD.

Identificação	Aoki e Velloso (1975, modificado)	Décourt e Quaresma (1978, 1996)	Teixeira (1996)	ECD
P-42	499,99	693,17	648,18	813,00
P-45	442,89	585,44	554,54	550,00
P-10	630,57	871,11	838,47	566,00
P-17-18-A	517,71	706,01	671,14	706,00
BEL-02	669,39	911,50	890,09	808,00
B40-A	592,35	817,29	787,66	862,00
PR2-A	585,01	844,84	792,13	640,00
P54-A	454,36	599,34	568,89	451,00
PR-5-A	581,23	839,35	787,00	546,00
P62-A	529,55	714,77	686,50	389,00

Fonte: (PEREIRA, 2020 a, adaptada).

Por meio dos resultados apresentados na Tabela 11 foi construído o gráfico de dispersão (Figura 8) das resistências laterais obtidas para cada um dos métodos e para cada uma das estacas ensaiadas, bem como suas respectivas retas de ajuste em relação aos resultados de referência.

Figura 8: Dispersão dos resultados de resistência lateral via metodologias semiempíricas relacionados com os obtidos via ECD's.



Fonte: (PEREIRA, 2020 a, adaptada).

Uma vez definida a reta de ajuste, segundo a qual foram relacionadas as resistências laterais obtidas para cada um dos métodos e para cada uma das estacas ensaiadas, bem como suas respectivas retas de ajuste em relação aos resultados de referência, avaliou-se os coeficientes de determinação R^2 obtidos para cada uma das metodologias semiempíricas, os quais estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – R^2 obtido da relação estabelecida entre os resultados dos métodos semiempíricos e os ECD's para a resistência lateral.

Método	Coeficiente de determinação - R^2
Aoki e Velloso (1975, modificado)	0,1528
Décourt e Quaresma (1978, 1996)	0,1587
Teixeira (1996)	0,1562

Fonte: (PEREIRA, 2020 a, adaptada).

Conforme evidenciado na Tabela 12 os coeficientes de determinação (R^2) obtidos para as metodologias clássicas são da ordem de 0,15. Esses resultados indicam, conforme Bisquerra *et al.* (2004), de baixa a moderada correlação entre os dados e, para Devore (2006), trata-se de um indicador de fraca correlação estabelecida. De forma geral, podemos afirmar, então, que ambas as metodologias semiempíricas apresentaram resultados relativamente pouco consistentes para a previsão de resistência lateral ao se tomar, como referência, os resultados obtidos via ECD's. Sugere-se aqui, também, que tais resultados sejam analisados com parcimônia, para tanto, podemos exemplificar os casos das estacas referentes à P-45 e P-10, cujas resistências laterais mobilizadas são de 550,00 kN e 566,00 kN, respectivamente. Para a estaca referente à P-45 o método de Teixeira (1996) apresentou resultado de 554,54 kN (menos de 1% superior), enquanto o mesmo método, para a estaca referente à P-10, apresentou resultado de 838,47 (aproximadamente 48% superior).

4.3 ANÁLISE DAS CAPACIDADES DE CARGA GEOTÉCNICAS

A Tabela 13 apresenta um comparativo entre as capacidades de carga geotécnicas, obtidas por meio dos métodos semiempíricos já descritos, e ensaios de carregamento dinâmico (ECD's).

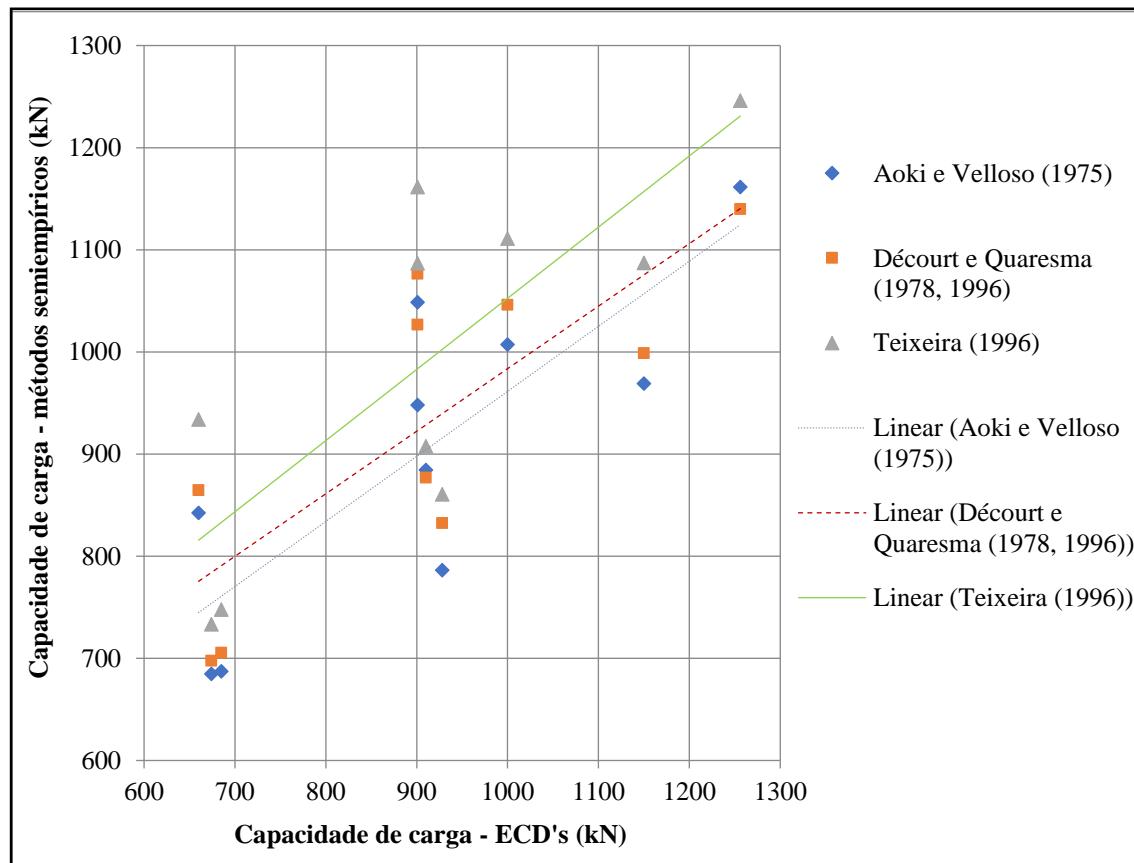
Tabela 13 – Comparativo entre capacidade de carga (kN) obtida via métodos semiempíricos e ECD.

Identificação	Aoki e Velloso (1975, modificado)	Décourt e Quaresma (1978, 1996)	Teixeira (1996)	ECD
P-42	786,23	832,32	860,46	928,00
P-45	684,80	697,50	733,11	674,00
P-10	1048,51	1076,28	1161,20	901,00
P-17-18-A	884,33	876,89	907,45	910,00
BEL-02	161,32	1139,60	1245,94	1256,00
B40-A	968,88	998,61	1087,09	1150,00
PR2-A	1007,20	1046,06	1110,78	1000,00
P54-A	687,30	705,46	747,60	685,00
PR-5-A	947,89	1026,44	1086,63	901,00
P62-A	842,43	864,46	933,94	660,00

Fonte: (PEREIRA, 2020 a, adaptada).

Com os resultados apresentados na Tabela 13 foi construído o gráfico de dispersão (Figura 9) das capacidades de carga geotécnicas obtidas para cada um dos métodos e para cada uma das estacas ensaiadas, bem como suas respectivas retas de ajuste em relação aos resultados de referência.

Figura 9 – Dispersão dos resultados de capacidade de carga geotécnica via metodologias semiempíricas relacionados com os obtidos via ECD's.



Fonte: (PEREIRA, 2020 a, adaptada).

Definida a reta de ajuste; relacionando as capacidades de carga geotécnicas obtidas para cada um dos métodos e para cada uma das estacas ensaiadas, bem como suas respectivas retas de ajuste em relação aos resultados de referência; avaliou-se os coeficientes de determinação R^2 obtidos para cada uma das metodologias semiempíricas, os quais estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – R^2 obtido da relação estabelecida entre os resultados dos métodos semiempíricos e os ECD's para a capacidade de carga geotécnica.

Método	Coeficiente de determinação – R^2
Aoki e Velloso (1975, modificado)	0,6634
Décourt e Quaresma (1978, 1996)	0,6219
Teixeira (1996)	0,6157

Fonte: (PEREIRA, 2020 a, adaptada).

Conforme evidenciado na Tabela 14 os coeficientes de determinação (R^2) obtidos para as metodologias clássicas foram da ordem de 0,63 (valor médio), ficando o método de Aoki e Velloso (1975, modificado) com R^2 ligeiramente superior, próximo a 0,66. Tais resultados indicam, conforme Bisquerra *et al.* (2004), de alta a muito alta correlação entre os dados e, para Devore (2006), trata-se de um indicador de moderada a forte correlação estabelecida. De maneira generalista, podemos afirmar, então, que ambas as metodologias semiempíricas apresentaram resultados relativamente consistentes para a previsão da capacidade de carga geotécnica tomando como referência os resultados obtidos via ECD's.

4.4 ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS MÉTODOS SEMIEMPÍRICOS

Devido à diversidade de dimensões das estacas componentes do projeto, de forma a eliminar a variável seção transversal, dividiu-se o valor das resistências últimas mobilizadas nos ECD's pelas áreas de ponta das mesmas. O valor médio obtido foi de 13400,15 kPa e o desvio padrão foi de 2259,01 kPa, configurando um coeficiente de variação da ordem de 17 %. Para a compatibilidade de unidade, procedeu-se o mesmo para com as capacidades de carga obtida via metodologias semiempíricas, ou seja, dividiram-se os resultados obtidos pela área de seção transversal da estaca pertinente. Esses dados encontram-se consolidados na Tabela 15. Ressalta-se que, pelos motivos apresentados, os resultados de capacidade de carga geotécnica ou resistência última mobilizada apresentados na Tabela 15 estão em kPa.

Tabela 15 – Resultados de capacidade de carga geotécnica ou resistência última mobilizada em kPa.

Identificação	Área da seção transversal (cm ²)	Aoki e Velloso (1975, modificado)	Décourt e Quaresma (1978, 1996)	Teixeira (1996)	ECD	ECD - 17%*	ECD +17%**
P-42	624	12599,90	13338,50	13789,43	14871,79	12343,59	17400,00
P-45	474	14447,26	14715,09	15466,55	14219,41	11802,11	16636,71
P-10	751	13961,56	14331,34	15462,03	11997,34	9957,79	14036,88
P-17-18-A	624	14172,00	14052,67	14542,45	14583,33	12104,17	17062,50
BEL-02	751	15463,64	15174,37	16590,35	16724,37	13881,23	19567,51
B40-A	751	12901,19	13297,03	14475,29	15312,92	12709,72	17916,11
PR2-A	894	11266,27	11700,88	12424,87	11185,68	9284,12	13087,25
P54-A	474	14500,11	14883,20	15772,18	14451,48	11994,73	16908,23
PR-5-A	894	10602,79	11481,47	12154,74	10078,30	8364,99	11791,61
P62-A	624	13500,47	13853,48	14967,06	10576,92	8778,85	12375,00

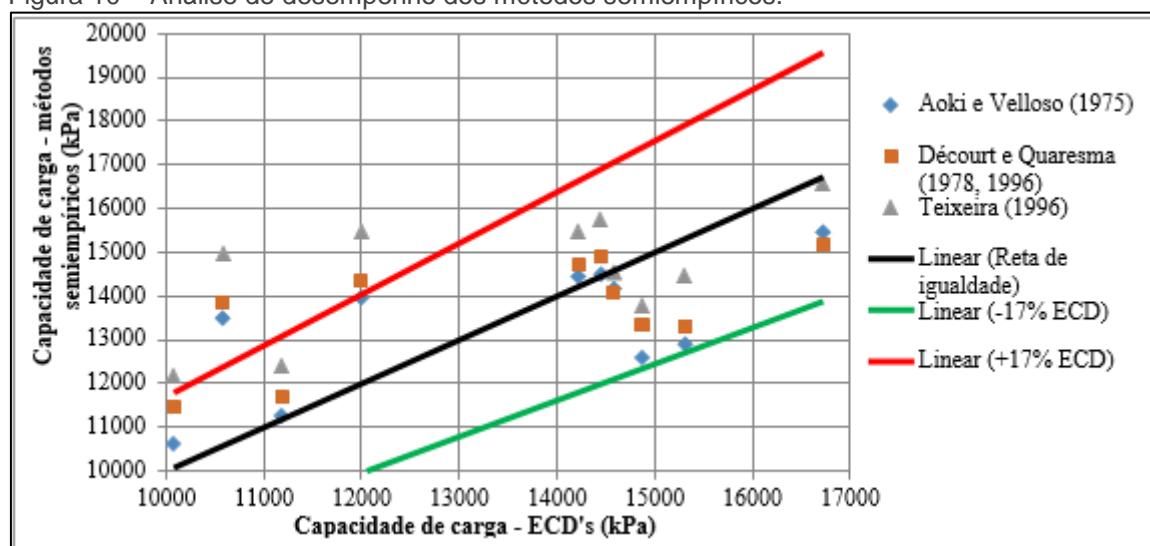
Fonte: (Os autores).

*Resultado 17% inferior ao obtido via ensaio de carregamento dinâmico.

** Resultado 17% superior ao obtido via ensaio de carregamento dinâmico.

Para a análise de desempenho dos métodos semiempíricos aplicou-se a metodologia apresentada por Velloso (2019). Para tanto, definiu-se o “grau de confiabilidade” como sendo a quantidade ou porcentagem de pontos situados entre as retas de desvio de mais 17 % e menos 17 % em relação à carga última mobilizada nos ensaios de carregamento dinâmico apresentadas na Figura 10. Destaca-se que o desvio de mais ou menos 17 % considerado refere-se à variabilidade encontrada para as resistências últimas mobilizadas nos ECD's para as dez (10) estacas ensaiadas e que se encontram em uma mesma região representativa.

Figura 10 – Análise de desempenho dos métodos semiempíricos.



Fonte: (Os autores).

Na Figura 10 os pares coordenados foram plotados em um gráfico dado por

“Capacidade de carga – ECD’s x Capacidade de carga – métodos semiempíricos”. No gráfico, foram identificadas: a reta de igualdade que corresponde ao valor desejável (valores calculados via método semiempírico iguais aos obtidos via ECD), e duas retas correspondentes aos desvios de +17 % e -17 % em relação à reta de igualdade, delimitando uma faixa de aceitação, denominada “zona de acerto”.

Quanto à Figura 10, podemos observar que a maioria maciça dos pontos se encontram na região considerada como “zona de acerto”, indicando, qualitativamente, o bom desempenho dos métodos semiempíricos empregados para a previsão da capacidade de carga geotécnica das estacas. O melhor desempenho observado foi o do método de Aoki e Velloso (1975, modificado) que apresentou um único ponto externo à “zona de acerto”, ou seja, 90% dos resultados calculados encontram-se na região esperada. Em seguida, temos o método de Décourt e Quaresma (1978, 1996) o qual apresentou 80 % dos resultados na “zona de acerto” e, por fim, o método de Teixeira (1996) com 70 % dos resultados na região esperada.

Digno de nota é que os resultados apresentados estão em termos de capacidade de carga, então, tomando-se os resultados externos à “zona de acerto” e empregando-se o fator de segurança mínimo estabelecido pela NBR 6122 (ABNT, 2019), igual a dois (2), a carga admissível encontrada será substancialmente inferior à resistência última, indicando certa segurança aos valores calculados sob o ponto de vista determinístico, ou seja, sem entrarmos no mérito da probabilidade de ruína do estaqueamento, análise esta que pode ser consultado em Pereira (2020).

4.5 DISCUSSÃO ACERCA DAS METODOLOGIAS SEMIEMPÍRICAS DE CÁLCULO DE CAPACIDADE DE CARGA GEOTÉCNICA DE ESTACAS

Vianna (2000) analisa 34 provas de carga estáticas realizadas em estacas pré-moldadas de concreto, cravadas em diferentes locais da cidade de Curitiba e da região metropolitana e compara os resultados com os obtidos pelos métodos semiempíricos de Aoki e Velloso (1975), Décourt e Quaresma (1978, 1996) e Amaral (1982, 1999). A autora conclui que o método de Aoki e Velloso comportou-se de forma conservadora com valores de capacidade de carga geotécnica calculada cerca de 40 % inferior à obtida via prova de carga estática; o método de Amaral apresentou resultados ousados, da ordem de 20 % superiores aos obtidos via PCE e, por sua vez, o método de Décourt e Quaresma apresentou resultados considerados intermediários, da ordem de 20 % abaixo aos obtidos via PCE.

Cabette (2014) compara os resultados de capacidade de carga obtidos pelos

métodos de Aoki e Velloso (1975), Décourt e Quaresma (1978, 1996) e Teixeira (1996) com os obtidos por ensaios de carregamento dinâmico via metodologia CAPWAP para estacas pré-moldadas de concreto pretendido utilizadas como fundações de habitações populares na região de Cubatão-SP assentes em solo mole. O autor concluiu, com base na análise de 32 ensaios de carregamento de dinâmico e 5 dados de sondagem do tipo SPT, que os métodos semiempíricos apresentaram resultados favoráveis à segurança e salienta a importância da sempre utilização de mais de um método semiempírico para o cálculo da capacidade de carga. Foi destacado, também, que o método de Teixeira (1996) conduziu a resultados bastante conservadores; o método de Aoki e Velloso (1975) conduziu a melhores correlações com os resultados da análise CAPWAP em uma região da obra e o método de Décourt e Quaresma (1978, 1996) resultados mais coerentes para outra região do mesmo empreendimento. De uma forma geral, o autor conclui que se obteve uma boa correlação com as análises CAPWAP para os métodos de Aoki e Velloso (1975) e Décourt e Quaresma (1978, 1996), destacando-se a última metodologia citada que apresentou melhores resultados independentemente do comprimento cravado e das regiões distintas do empreendimento.

Velloso (2019) desenvolveu uma análise de desempenho dos métodos semiempíricos propostos por Aoki e Velloso (1975, modificado), Décourt e Quaresma (1978, 1996), Alonso (1996) e P. P. C. Velloso (1981). O trabalho foi desenvolvido com base em um estudo de caso de um empreendimento localizado na região metropolitana de Belo Horizonte - MG, cujo estaqueamento é composto por estacas do tipo hélice contínua. Para o emprego dos métodos, foram utilizadas sondagens do tipo SPT e os resultados comparados com as resistências últimas mobilizadas nos 14 ensaios de carregamento dinâmico realizados. A autora concluiu que: o método de P. P. C. Velloso (1981) apresentou o melhor desempenho de estimativa de carga; o método de Décourt-Quaresma (1978, 1996) se apresentou como o método mais conservador; o método de Aoki e Velloso (1975 modificado) se apresentou como o método mais ousado, verificando-se as maiores magnitudes de cargas estimadas, sendo que uma parcela elevada das mesmas se apresentou contrária à segurança; o método de Alonso (1996) apresentou a maior variabilidade de cargas estimadas.

Diversos outros trabalhos, entre eles artigos, trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses apresentam estudos comparativos entre resultados de capacidade de carga geotécnica obtidos via métodos semiempíricos e via resultados

de ensaios de carregamento dinâmico e/ou provas de carga estáticas, os quais podemos citar: Nienov (2006), Falconi et al. (2008), Amaral e Baggio (2008), Silva (2013), Alledi et al. (2015) Gelesov (2015), entre outros.

Destaca-se, aqui, que a proposta do presente artigo não tem como finalidade de puramente criticar métodos semiempíricos de cálculo de capacidade de carga geotécnica de estacas, mas, sim, evidenciar que não há e não haverá consenso quanto a um melhor método nesta categoria que possa ser aplicado de forma generalizada. Cada autor, especialmente os já citados, apresenta conclusões consideravelmente diferentes dos outros no que tange ao desempenho observado dos métodos semiempíricos uma vez comparados com provas de carga estáticas e ensaios de carregamento dinâmico. Infere-se que esta diferença de desempenho observada é fruto das características da estaca, tanto tipologia quanto geometria, condições geológico-geotécnicas, variabilidade e falta de critério da definição de região representativa geotécnica, questões inerentes à qualidade executiva de ensaios de campo e suas interpretações, particularidades dos métodos, dentre outras. É senso comum que a formação geológica geotécnica apresenta influência significativa no comportamento resistente de um estaqueamento (VELLOSO, 2019). Especialmente, destacam-se, aqui, as particularidades dos métodos semiempíricos algo já ressaltado por vários autores (por exemplo, Schnaid e Odebrecht, 2012) que é o fato da validade de tais métodos ficarem limitados à prática construtiva regional e às condições específicas dos casos históricos utilizados em seu desenvolvimento.

Amann (2010) adverte que os métodos semiempíricos não são universais e devem ser aplicados com ressalvas a solos de locais diferentes dos originalmente pesquisados pelos seus autores. Soma-se isso à preconização normativa da NBR 6122 (ABNT, 2019, p. 22) quanto aos métodos semiempíricos de que “[...] devem ser observados os domínios de validade de suas aplicações, bem como as dispersões dos dados e as limitações regionais associadas a cada um dos métodos”.

Sugere-se, então, que a previsão de capacidade de carga geotécnica de estacas deve ser realizada por um elenco de métodos semiempíricos pertinentes, especialmente quanto à região de execução do empreendimento e à tipologia de estaca. Além disso, indica-se a calibração das tensões mobilizadas ao longo do fuste e na ponta de estacas com base em provas de carga estáticas e/ou ensaios de carregamento dinâmico e o desenvolvimento de métodos regionalizados, bem como a criação de um banco de dados destes parâmetros de forma que tais dados possam

ser submetidos a uma análise estatística e aprimorados.

5. CONCLUSÕES

No contexto da Engenharia Geotécnica/Engenharia de Fundações é possível afirmar que ambas as metodologias semiempíricas estudadas apresentaram resultados relativamente consistentes para a previsão da capacidade de carga geotécnica, tomando, como referência, os resultados obtidos via ECD's no contexto deste estudo de caso. Quanto à análise de desempenho, foi observado que a maioria maciça dos pontos se encontrou na região considerada como “zona de acerto”, indicando o bom desempenho dos métodos semiempíricos empregados para a previsão da capacidade de carga geotécnica das estacas. Cabe reforçar que o melhor desempenho observado foi o do método de Aoki e Velloso (1975, modificado) que apresentou 90 % dos resultados calculados na região esperada, seguido do método de Décourt e Quaresma (1978, 1996) o qual apresentou 80 % dos resultados na “zona de acerto” e, por fim, o método de Teixeira (1996) com 70 % dos resultados na região esperada.

Apesar dos bons resultados obtidos para a previsão da capacidade de carga ressalta-se a necessidade de cautela no uso das metodologias semiempíricas. Mesmo com uma tendência a resultados consistentes para a resistência de ponta, existem situações em que as metodologias semiempíricas podem conduzir a resultados bastante contrários a segurança, conforme já exemplificado, diante dos quais foi possível identificar resistência de ponta aproximadamente 149 % superior à de referência. O mesmo é válido quando se trata da resistência lateral, pois, observou-se valor que variava em menos de 1 % do valor de referência e valor aproximadamente 48 % superior, para um mesmo método aplicado.

Finalmente, com base na literatura pesquisada e nas análises realizadas, é possível concluir que não há um modelo matemático semiempírico para a previsão de capacidade de carga geotécnica de estacas sem restrição de aplicabilidade e definitivo, visto que ele é desenvolvido considerando condicionantes regionais de resistência, fruto do histórico de formação geológico/geotécnica local. Mesmo os métodos semiempíricos já consagrados na Engenharia de Fundações brasileira deveriam ser limitados aos locais de onde se dispõem de resultados de ensaios para a calibração do modelo matemático.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Núcleo de Geotecnica da Universidade Federal de Ouro Preto (NUGEO/UFOP) e ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) pelo apoio a esta pesquisa e à Consmara Engenharia Ltda, pela cessão dos dados pertinentes ao estudo de caso.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13208**: Estacas – ensaio de carregamento dinâmico. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2019.

ALLEDI, C. T. D. B. **Transferência de carga de estacas hélice contínua instrumentadas em profundidade**. Orientador: Enivaldo Minette. 2004. 294 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG, 2013.

ALLEDI, C.T.D. B. et al.. **Estaca hélice continua instrumentada**: previsão de carga de ruptura por métodos semi empíricos vs. prova de carga. Geotecnia (Lisboa), v. 135, p. 115-128, 2015.

AMANN, K. A. P. **Metodologia semiempírica unificada para a estimativa da capacidade de carga de estacas**. Orientador: Prof. Dr. Faiçal Massad. 2010. 430 f. Tese (Doutorado em Engenharia)

– Universidade de São Paulo, Escola Politécnica. São Paulo-SP, 2010.

AMARAL, J. C.; BAGGIO, A. C. M. A estimativa e o controle da capacidade de carga de estacas pré-moldadas de concreto com o uso de provas de carga, diagramas de cravação e métodos estáticos na obra da Vila do PAN 2007. **VI SEFE. 2008**.

ANDRADE, R. F. **Mapeamento geotécnico preliminar em escala de semi-detalhe (1:25.000) da área de expansão urbana de Uberlândia-MG**. Orientador: Luiz Nihiyama. 2005. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia-MG, 2005.

AOKI, N.; VELLOSO, D. An approximate method to estimate the bearing capacity of piles. In: Panamerican conference on soil mechanics and foundation engineering, 5., 1975, Buenos Aires. **Proceedings...** Buenos Aires. v. 1, p. 367-376, 1975.

AVELINO, J. D. **Análise de desempenho de estacas de fundação em um terreno com presença de solos moles**. Orientadores: Márcio de Sousa Soares de Almeida Paulo Eduardo Lima de Santa Maria. 2006. 130 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro- RJ, 2006.

BISQUERRA ALZINA, R.; CASTELLÁ SARRIERA, J.; MARTÍNEZ, F. **Introdução à estatística: enfoque informático com o pacote estatístico SPSS**. Porto Alegre: Artmed, 2004.

CABETTE, J. F. **Análise dos métodos semi-empíricos utilizados para a estimativa da capacidade de carga de estacas pré-fabricadas com base em resultados de ensaios de carregamento dinâmico**. Orientador: Fernando Antônio Medeiros Marinho. 2014. 160p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo-SP, 2014.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N. **Fundações por estacas**: projeto geotécnico. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

DÉCOURT, L.; ALBIERO, J. H.; CINTRA, J. C. A. **Análise e projeto de fundações profundas**. In: HACHICH, W. et al.. (Edit.). Fundações: teoria e prática. 2 ed. São Paulo: Editora PINI, 1996. p. 265-327.

DÉCOURT , L.; QUARESMA, A. R. Capacidade de carga de estacas a partir de valores de

SPT. 6º Congresso Brasileiro de Mecânica dos solos e Engenharia de Fundações, Rio de Janeiro. **Anais...**, v. 1, pp 45-53, 1978.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística: para engenharia e ciências**. São Paulo: Thomson Pioneira, 2006. 706 p.

FALCONI, F. F.; CORRÊA, C. N.; PEREZ JUNIOR, W. **Estacas metálicas – comparação entre provas de carga estática, ensaios dinâmicos e métodos de cálculo de capacidade de carga**. VI SEFE - Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnica. 2008.

GELESOV, Y. T. **Previsão da capacidade de carga de estacas escavadas em solo arenoso da região de Araquari-SC**. Orientador: George de Paula Bernardes. 2015. 86 f. Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá. Guaratinguetá-SP, 2015.

MESQUITA, T. **UFU - Campus Glória e Sta Mônica**. Portfólio Corporativo, 2019. Disponível em:<<https://www.thiagomesquita.com.br/portfolio/corporativo/111097-fotos-de-arquitetura-uberlandia-ufu-campus-gloria-e-sta-monica>>. Acesso em: 02 set. 2019.

NIENOV, F. A. **Comportamento à compressão de estacas escavadas de pequeno diâmetro em solo sedimentar na região de Santa Maria**. Orientador: Rinaldo Jose Barbosa Pinheiro. 2006. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Santa Maria-RS, 2006.

PEREIRA, A. B. **Metodologia semiempírica de cálculo de capacidade de carga geotécnica de estacas com base em dados de SPT extrapolados via krigagem e ensaios de carregamento dinâmico**. Orientador: Romero César Gomes. Tese (Doutorado em Geotecnica) – Universidade Federal de Ouro Preto, Programa de Pós-Graduação em Geotecnica. Ouro Preto-MG. 2020, a. No prelo.

PEREIRA, A. B.; PORTO, T. B.; GOMES, R. C. **The use of geostatistics for SPT spectrum inference for foundation engineering application**. Revista da Escola de Minas. 2020, b. No prelo.

PÉREZ, N. B. M. **Análise de transferência de carga em estacas escavadas em solo da região de Campinas/SP**. Orientador: Paulo José Rocha de Albuquerque. 2014. 205 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas-SP, 2014.

SCHNAID, F.; ODEBRECHT, E. **Ensaios de campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

SILVA, L. I. **Avaliação dos métodos de previsão e controle de capacidade de carga em estacas tipo perfil metálico "H"**. Orientador: Silvio Romero de Melo Ferreira. 2013. 218 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Recife-PE, 2013.

TEIXEIRA, A. H. Projeto e execução de fundações. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA, 3. **Anais...** São Paulo, 1996. v.1. p. 33-50.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações**: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

VELLOSO, H. V. **Análise de desempenho dos métodos de capacidade de carga semi-empíricos e avaliação da probabilidade de ruína de uma fundação em estacas hélice contínua.** Orientador: Crysthian Purcino Bernardes Azevedo. 2019. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia. Ouro Preto-MG, 2019.

VIANNA, A. P. F. **Análise de provas de carga estática em estacas pré-moldadas cravadas na cidade de Curitiba e região metropolitana.** Orientador: José Carlos Ângelo Cintra. 2000. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos-SP, 2000.

CAPÍTULO 04

QUANTIFICAÇÃO TEÓRICA E EXPERIMENTAL DO BIOGÁS PRODUZIDO DURANTE A REMOÇÃO ANAERÓBICA DE MATÉRIA ORGÂNICA DE EFLUENTE DOMÉSTICO

Talita Lorena da Silva do Nascimento

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e Mestranda em Engenharia Química na Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Endereço: Rua Dom Antônio de Almeida Lustosa 161 - Planalto - Natal - RN - CEP: 59073110 - Brasil

E-mail: talitalorenasn@gmail.com

Vítor Pinheiro Ferreira

Doutor em Energia e Meio Ambiente (CIENAM) e professor Adjunto da Universidade Federal da Bahia

Instituição: UFBA – Universidade Federal da Bahia. Instituto de Ciência, Tecnologia e Inovação (ICTI).

Endereço: Rua do Telégrafo, s/n, Centro, Camaçari-Ba, Brasil.

E-mail: vitorpf@ufba.br

RESUMO: O fornecimento de energia elétrica no Brasil é predominantemente proveniente do setor hidráulico. Dessa forma, torna-se necessário a utilização de outras fontes de energia para minimizar a sobrecarga sobre a fonte hidráulica. A biomassa, que é todo recurso renovável obtido a partir da matéria orgânica, é tida como uma alternativa para diversificação da matriz energética e como técnica de conversão de biomassa em energia renovável pode-se citar o processo de digestão anaeróbia. A etapa final no processo de digestão anaeróbia resulta na produção de biogás, que pode ser convertido em energia mecânica nos motores térmicos. O presente estudo visou aferir o potencial do biogás produzido por Digestores Anaeróbios de Fluxo Ascendente da ETE de Muritiba - BA como fonte de energia primária. Análises físico-químicas foram realizadas no esgoto a fim de determinar a eficiência do tratamento. Para determinação da produção teórica de biogás e de eletricidade utilizou-se o modelo proposto na literatura. Para validação dos dados teóricos, foi construída uma réplica da instalação de biodigestão anaeróbia em escala de bancada, que funcionou como plataforma para determinação da produção experimental de biogás e eletricidade, através da quantificação de metano. A remoção de carga orgânica do reator DAFA apresentou eficiência de remoção de SST, DBO e DQO em média de 62%, 73% e 79%, respectivamente. Como este se constitui num tratamento primário, foi constatado que o mesmo apresenta funcionamento adequado dentro dos padrões determinados pela literatura. Quando comparada à média da produção teórica de eletricidade com a produção experimental, observou-se divergência nos resultados, sendo a produção teórica suficiente para abastecer uma pequena comunidade com 175 habitantes enquanto a experimental atenderia a 32 habitantes. Levando em consideração a influência da variação diária de temperatura, comparou-se a produção de metano experimental (a partir do protótipo) com a média

da produção de metano teórica contabilizando apenas as amostras coletadas pela manhã (turno no qual foi coletado o material orgânico testado no protótipo). Fazendo essa relação, os dados de produção de metano foram similares, bem como para os dados de produção de energia elétrica.

PALAVRAS-CHAVE: Energia renovável, saneamento, tratamento de efluentes, aproveitamento energético, biodigestão

ABSTRACT: The supply of electricity in Brazil is predominantly from the hydraulic sector. Thus, it is necessary to use other energy sources to minimize the overload on the hydraulic source. Biomass, which is all renewable resources obtained from organic matter, is considered as an alternative to diversify the energy matrix and as a technique for converting biomass into renewable energy, one can mention the process of anaerobic digestion. The final step in the anaerobic digestion process results in the production of biogas, which can be converted into mechanical energy in thermal engines. The present study aimed to assess the potential of biogas produced by Anaerobic Upstream Flow Digesters at the ETE of Muritiba - BA as a primary energy source. Physical-chemical analyzes were carried out in the sewer in order to determine the efficiency of the treatment. To determine the theoretical production of biogas and electricity, the model proposed in the literature was used. To validate the theoretical data, a replica of the anaerobic biodigestion facility on a bench scale was built, which served as a platform for determining the experimental production of biogas and electricity, through the quantification of methane. The removal of organic load from the DAFA reactor showed an efficiency of removal of SST, BOD and COD on average of 62%, 73% and 79%, respectively. As this is a primary treatment, it was found that it works properly within the standards determined by the literature. When compared to the average theoretical production of electricity with experimental production, there was a divergence in the results, with theoretical production sufficient to supply a small community with 175 inhabitants while the experimental one would serve 32 inhabitants. Taking into account the influence of the daily temperature variation, the experimental methane production (from the prototype) was compared with the average theoretical methane production, counting only the samples collected in the morning (shift in which the tested organic material was collected) in the prototype). Making this relationship, the methane production data were similar, as well as for the electricity production data.

KEYWORDS: Renewable energy, sanitation, wastewater treatment, energy recovery, biodigestion

1. INTRODUÇÃO

Os serviços de saneamento têm grande importância na qualidade de vida da população. A ausência de coleta e tratamento de esgotos adequados pode contribuir com a proliferação de doenças de veiculação hídricas, além de ocasionar a degradação das condições dos recursos hídricos (BORGES, 2016).

O tratamento biológico é a forma mais eficiente de remoção da matéria orgânica dos esgotos, onde a matéria orgânica é decomposta pela ação das bactérias presentes no próprio efluente. Havendo oxigênio livre (dissolvido), são as bactérias aeróbias que promovem a decomposição, não havendo, são as anaeróbias que se incumbem desta tarefa. A digestão anaeróbia é um processo biológico para tratamento de águas residuárias que tem sido muito utilizado nos últimos anos para tratamento de esgoto doméstico. O esgoto pode ser tratado em diferentes configurações de reatores anaeróbios. Uma delas é o DAFA – Digestor Anaeróbio de Fluxo Ascendente, que é o mais utilizado devido ao baixo

custo de implantação, facilidade operacional, baixa produção de sólidos e eficiência de remoção de matéria orgânica da ordem de 70% (BORGES, 2016).

Um importante e valiosa vantagem associada ao tratamento anaeróbio de esgotos é a produção de Biogás, que é um composto constituído essencialmente por metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) além de pequenas quantidades de ácido sulfúrico e amônia. Esse gás surge como combustível proposto para geração de calor e eletricidade, substituindo as energias não renováveis e minimizando a sobrecarga do setor hidroelétrico. (ANEEL, 2008)

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2017), 9% da potência instalada no país são provenientes da biomassa, com 547 usinas em operação. Das plantas que utilizam biogás proveniente da biodigestão de biomassa, apenas 4 são de origem de ETE. Tal dado evidencia a importância de estudos que comprovem a eficiência qualitativa e quantitativa do uso do biogás produzido durante a biodigestão anaeróbia, tendo em vista que muitas ETE's utilizam a biodigestão anaeróbia, porém poucas aproveitam o biogás produzido no processo.

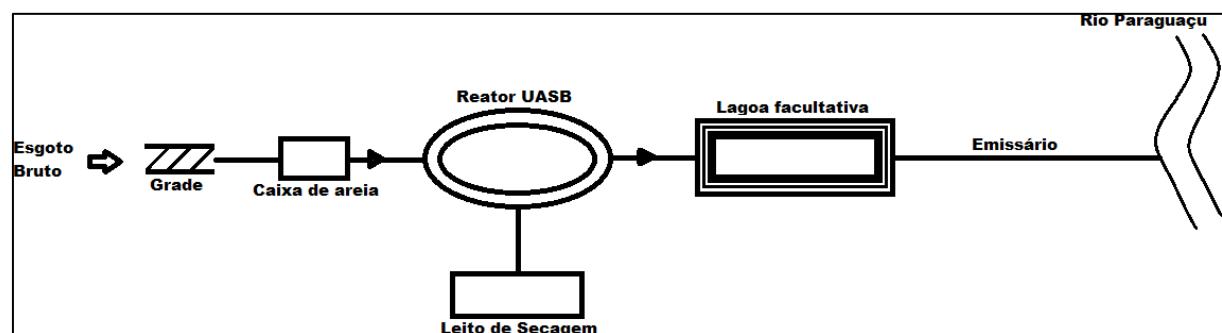
O aproveitamento do biogás gerado durante o tratamento de esgotos para fim energético traz benefícios econômicos e ambientais, sendo possível minimizar os impactos ambientais causados no processo de tratamento de esgoto e diminuir custos com energia.

Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi medir o volume de biogás produzido durante o processo de biodigestão anaeróbia do esgoto da ETE de Muritiba-BA, verificando seu potencial como fonte de energia primária, a partir da avaliação da eficiência de remoção de carga orgânica do reator DAFA da ETE de Muritiba – BA. Foi estimada a produção do biogás a partir da remoção da DQO do DAFA da ETE em estudo e seu potencial de produção de energia elétrica. Um protótipo de reator DAFA que servisse como plataforma experimental foi construído para avaliar o volume de metano produzido e calcular o potencial de produção de energia elétrica do gás produzido, com a subsequente comparação dos resultados da quantificação de biogás obtidos a partir da DQO removida e a partir do protótipo do DAFA.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa se desenvolveu na ETE do município de Muritiba – BA, que possui uma população estimada em 28.899 mil habitantes (IBGE, 2010). O Sistema de Esgotamento Sanitário - SES Muritiba beneficia 11.061 habitantes (correspondendo a aproximadamente 40 % da população). A ETE entrou em funcionamento em 2011. A Figura 1 ilustra o caminho percorrido pelo esgoto desde o ponto de entrada até o descarte final no corpo receptor.

Figura 1: Fluxograma da ETE de Muritiba – BA



Fonte: Os Autores

Foram escolhidos dois pontos para coleta de amostra de água residuária: um ponto anterior ao reator anaeróbio onde foi recolhido amostra de esgoto bruto (afluente) e um posterior ao reator anaeróbio onde foi recolhida amostra de esgoto tratado (efluente). As coletas foram realizadas no período de maio/2017 a julho/2017 e ao todo foram realizadas 5 coletas, denominadas de A1, A2, A3, A4 e A5.

As análises foram realizadas nos laboratórios de qualidade da água e laboratório

de tratamento de águas residuárias da ESA/CETEC/UFRB. A Tabela 1 apresenta os parâmetros físico-químicos analisados e as respectivas metodologias utilizadas para determinação dos mesmos.

Tabela 1: Parâmetros e metodologia adotados para análise das amostras

PARÂMETROS	TÉCNICA ANALÍTICA	UNIDADE
pH	pHmetro (medidor de pH).	-----
SST	Método padrão - Gravimétrico	mg/L
DBO5	Método padrão - Método da incubação	mg/L
DQO	Método padrão - Refluxo fechado titulométrico	mg/L

Fonte: Os Autores

Para calcular a eficiência de remoção da carga orgânica do reator DAFA utilizou-se a equação 1, aplicada a cada parâmetro avaliado.

$$\text{Eficiência de remoção} = \frac{C \text{ entrada} - C \text{ saída}}{C \text{ entrada}} * 100 \quad (1)$$

Onde:

Eficiência de remoção = Eficiência de remoção biológica (%)

C entrada = Concentração de entrada (mg/L).

C saída = Concentração de saída (mg/L).

Para estimar a produção de biogás em biodigestor anaeróbio a partir da produção de biogás foi utilizada a equação descrita pelo projeto Geração Distribuída (2009 apud FARIA, 2012), que relaciona a produção de metano por DQO removida e a concentração de metano do biogás, conforme descrito na equação 2. Essa equação fornecerá de produção teórica de biogás.

$$PB = \frac{V_{ef} * DQO * y}{C_{CH4}} * 100 \quad (2)$$

Onde:

PB = Produção de biogás (m³ CH4/dia)

Vef = Vazão de efluente através do biodigestor anaeróbio (m³/dia)

DQO = Valor médio da demanda química de oxigênio de biomassa residual produzida (kg DQO/m³) Y = é a produção de metano por kg de DQO (m³CH4/kg DQO);

C CH4 = Concentração de metano no biogás (CH4)

Segundo Chernicharo (1997, apud GERVASONI, 2011), a estimativa da produção de metano produzido durante a biodigestão anaeróbia pode ser dada a partir da relação estequiométrica que o mesmo tem com a remoção de DQO. Em condições normais de temperatura e pressão 22,4 litros de metano correspondem a 64 gramas de DQO removida, ou seja, são gerados 350 litros de CH4 por kg de DQO removida, podendo esse valor variar com base nas características do esgoto, tais como: Qualidade do esgoto tratado, a eficiência do processo de tratamento e a variação do esgoto afluente ao longo da operação (GERVASONI, 2011). Sendo assim a produção de metano por Kg de DQO (Y) é estimada em 0,350 m³CH4/Kg DQO.

De acordo com Percora (2006), o biogás produzido a partir da digestão anaeróbia é constituído aproximadamente de 60 a 75% de metano (CH4), portanto foi adotado para concentração de metano do biogás um valor médio de 65%.

Para medição do volume real de metano produzido durante a biodigestão anaeróbia do esgoto da ETE de Muritiba, foi construído um protótipo de reator DAFA visando recriar as condições de digestão anaeróbia existentes no reator de Muritiba.

O propósito foi idealizado para funcionar em fluxo contínuo, para simular o mesmo comportamento que ocorre na ETE. O mesmo foi composto por um biodigestor, feito com um recipiente de polietileno de 5 L e dois reservatórios, um com finalidade de manter o nível do reator constante e o outro para armazenar e permitir a alimentação do biodigestor nos períodos entre as coletas. Os mesmos foram construídos com um recipiente plástico com volume interno de 12 L e um vaso de 20 L, respectivamente. Na Figura 2 encontra-se o protótipo montado com todos os seus componentes.

Após observação da estanqueidade do protótipo, percebeu-se que o regime de fluxo contínuo prejudicaria a medição de metano produzido, uma vez que, os pontos de alimentação e saída do esgoto abertos durante todo o experimento acarretariam

no vazamento do gás. Dessa forma, decidiu-se mudar o fluxo do biodigestor de contínuo para batelada, substituindo-se o reservatório de 20 L por um recipiente similar ao utilizado para coleta das amostras, no intuito de facilitar o reabastecimento do protótipo, como visto na Figura 3. O tempo de detenção hidráulica considerado foi equivalente ao tempo de estabilização da produção de gás no protótipo, sendo assim determinado após a realização dos testes.

A fim de melhorar a estanqueidade do protótipo e eliminar o máximo possível de pontos prováveis de vazamento, o mesmo foi simplificado como mostrado na Figura 4, onde se utilizou apenas o biodigestor. O afluente e o lodo utilizados foram inseridos antes da realização da vedação da tampa rosqueável.

Figura 2. Protótipo do biodigestor em fluxo contínuo.



Fonte: Os Autores

Figura 3. Protótipo de biodigestor em batelada.



Fonte: Os Autores

Figura 4. Protótipo simplificado do biodigestor em batelada.



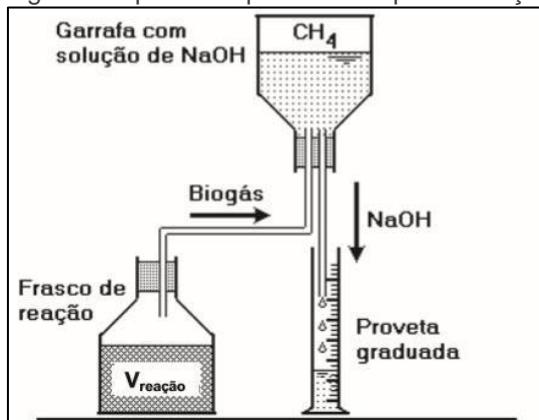
Fonte: Os Autores

Para a medição da quantidade de metano gerado no processo de tratamento do esgoto dentro do protótipo, utilizou-se a metodologia de medição direta do volume de metano durante um intervalo de tempo fixo. Foram utilizados dois aparelhos experimentais. O aparelho I proposto por Aquino *et.al.* (2007) e o aparelho II proposto por Schneiders *et.al.* (2013), ambos com princípios de funcionamento similares.

A principal diferença entre os aparelhos está no líquido utilizado como indicador direto da quantidade de metano produzido e na posição do tubo de saída desse líquido. No aparelho I (Figura 5) o gás produzido é encaminhado para um vaso com solução de NaOH, onde é lavado, e a solução de NaOH é conduzida da garrafa conforme o gás vai sendo gerado e a medição é feita através de uma proveta graduada que coleta a solução da tubulação de saída. A tubulação de saída foi instalada verticalmente na parte inferior da garrafa.

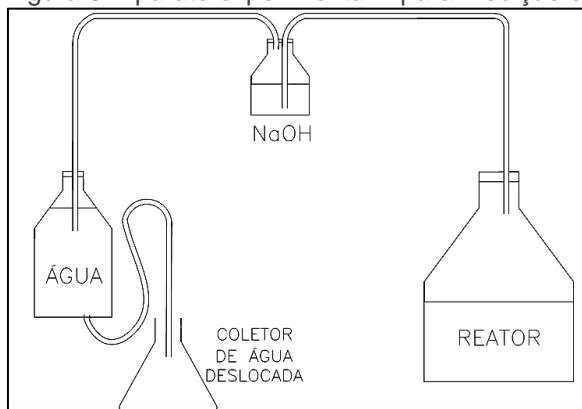
No aparelho II (Figura 6) o gás produzido sai do reator e circula por um frasco contendo escamas de NaOH para ser lavado, logo após segue para uma garrafa contendo água que é deslocada conforme há a produção de biogás. A água é deslocada para um coletor onde é feita a medição do volume produzido. A tubulação de saída do aparelho II é dotada de um sifão.

Figura 5. Aparato experimental I para medição do volume de metano produzido.



Fonte: Aquino et. al. (2007)

Figura 6. Aparato experimental II para medição do volume de metano produzido.



Fonte: Próprio autor (2017)

Para a escolha da concentração e do volume de inoculo e substrato a serem utilizados no reator, utilizou-se a metodologia da AME a fim de obter-se um ambiente favorável para os micro-organismos anaeróbios realizarem a degradação da matéria orgânica com a consequente produção de biogás, respeitando as características reais do UASB de estudo. O inoculo utilizado foi o lodo proveniente do UASB da Estação de Tratamento de Esgoto da ETE de Muritiba- BA e como substrato foi utilizado o esgoto sanitário bruto da mesma ETE.

A concentração do lodo escolhida para alimentação do reator foi de 10 g SSV/L que, segundo Penna (1994 apud FERREIRA, 2008) é a concentração mais adequada para testes de atividade metanogênica com lodo de esgoto sanitário sob o ponto de vista de menor duração do ensaio e melhor repetitividade dos resultados. O substrato e o inoculo ocuparam 4 L do volume do protótipo enquanto o 1 L restante foi destinado à fase gasosa. Para alimentação do protótipo foram realizadas duas coletas, na qual se obteve 1,5 litros do lodo contido no reator DAFA da ETE de Muritiba através do sistema de descarga do DAFA nos leitos de secagem e 3,5 litros de esgoto afluente.

O lodo foi armazenado em garrafas plásticas e utilizado imediatamente após a coleta. Para caracterização do lodo foram realizadas análises da série de sólidos suspensos e totais no laboratório de tratamento de águas residuárias da UFRB (Universidade Federal do Recôncavo da Bahia).

Para estimar a produção de energia a partir do biogás produzido na biodigestão anaeróbia, utilizaram-se as equações (3) e (4) (FINEP-ITAI, 2009 apud FARIA, 2012) correspondente ao potencial teórico e técnico de produção de eletricidade, respectivamente, sendo este último o potencial que leva em consideração as perdas do sistema.

$$PTE = PCI * PB \quad (3)$$

Onde:

PTE = Potencial teórico de produção de eletricidade (kWh/dia)

PCI = Poder calorífico inferior (kWh/m³)

PB = Produção diária de biogás (m³/dia)

Para estimar a produção de energia o poder calorífico inferior adotado foi de 6.5 kWh/m³, que corresponde a biogás com 65% de metano, valor este que, segundo a literatura, é a porcentagem estimada de metano no processo de biodigestão anaeróbia do tratamento de esgoto. (FARIA, 2012).

$$PTCE = \frac{PTE * n}{100} \quad (4)$$

Onde:

PTCE = Potencial técnico de geração (kWh/dia)

PTE = Potencial teórico de produção de eletricidade (kWh/dia)

n = Eficiência de conversão (adotado neste trabalho como 25% , referente a conversão por motores ciclo Otto).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para determinação da eficiência de remoção do processo de tratamento foram realizadas análises físico-químicas nas amostras coletadas. Os parâmetros determinados foram: pH, SST, DBO e DQO. Os valores médios das análises físico-

químicas das 5 coletas realizadas nos esgotos bruto e tratado, encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Valores e Concentrações médias dos esgotos afluente e efluente

PARÂMETROS	VALOR E CONCENTRAÇÃO		EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO (%)
	AFLUENTE	EFLUENTE	
pH	7,5±0,2	7,3±0,1	2
SST	619 ± 400	233 ± 98	62
DBO5	395 ± 70	105 ± 32	73
DQO	1167 ± 667	247 ± 50	79

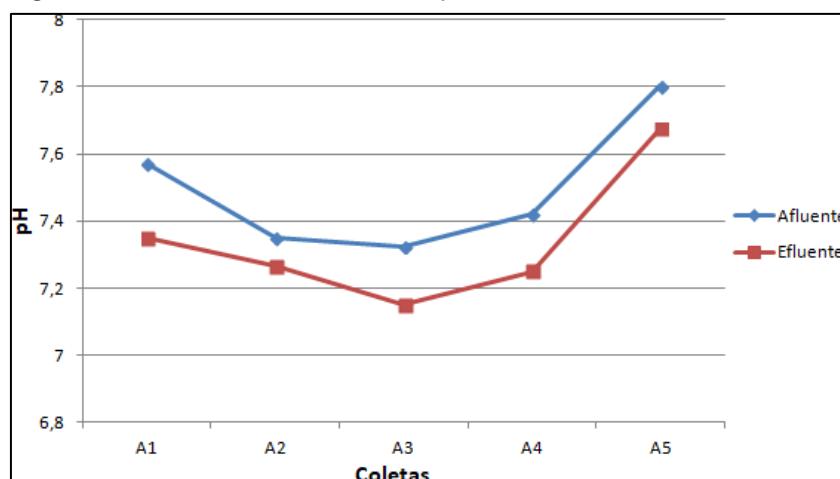
Fonte: Os Autores

De uma forma geral, pode-se observar que os valores médios obtidos para o pH dos esgotos afluente e efluente foram similares e com pequena variação nos resultados, porém os outros parâmetros apresentam significativas variações dos resultados, sendo evidenciado através do desvio padrão. As variações dos resultados ocorreram devido a fatores como: condições climáticas e horário de coleta, haja vista que nem todas as coletas ocorreram no mesmo horário. Como a dispersão das propriedades medidas para o esgoto tratado foi menor que a do esgoto bruto, pode-se concluir que o processo anaeróbio que ocorre no reator UASB consegue absorver possíveis flutuações no aumento da carga orgânica dos esgotos, compensando com maior atividade microbiológica os períodos de maior demanda.

3.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS DO PH DO ESGOTO

A média do pH do esgoto afluente e efluente da ETE de Murtiba apresentou valor igual a 7,5 e 7,3 respectivamente. A figura 7 apresenta os resultados obtidos para pH de cada coleta.

Figura 7: Resultado das análises de pH de afluentes e efluentes da ETE.



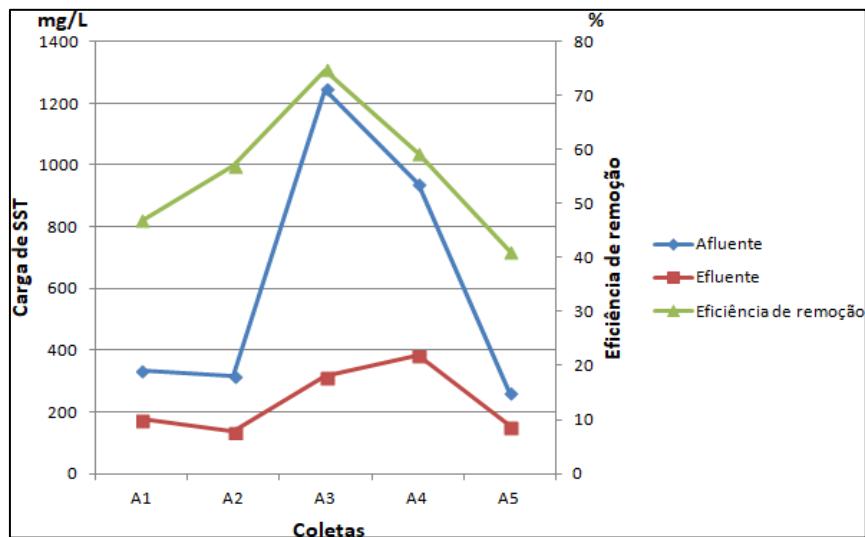
Fonte: Os Autores.

Após o tratamento através do UASB, o esgoto efluente apresentou pH aproximadamente neutro, assim como o esgoto afluente. Jordão e Pessoa (2011) afirmam que na digestão anaeróbia, durante o processo de acidificação no qual ocorre a intensa produção de ácidos, existe a queda do pH que varia entre 5,1 a 6,8; chegando até a 4, em seguida, durante o processo de digestão dos ácidos, o pH se eleva novamente. A partir dos resultados obtidos para o pH do afluente e efluente, e observando na Tabela 2 que houve remoção da matéria orgânica pode-se inferir que os processos ocorridos durante a digestão anaeróbia do reator UASB, que causam alterações naturais no pH do esgoto, tiveram suas variações de pH condizentes com as etapas do processo fazendo com que ao final da digestão anaeróbia o efluente mantenha o seu pH neutro.

3.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS DO ESGOTO E EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO

A figura 8 apresenta os resultados dos sólidos suspensos totais de cada amostra analisada.

Figura 8: Resultados das análises de SST.



Fonte: Os Autores.

De acordo com a Tabela 2, a média de eficiência de remoção dos Sólidos Suspensos Totais (SST) foi de 62 %. Como se podem observar na figura 8 as coleta A1, A2 e A5 apresentam concentração de sólidos suspensos totais mais baixos que as das coletas A3 e A4. Tal discrepância pode ser explicada pelo horário da coleta. As coletas A1, A2 e A5 foram realizadas as 09h00min da manhã, enquanto que as coletas A3 e A4 foram realizadas 14h00min e 16h00min da tarde, respectivamente. De acordo com Valente, Padilha e Silva (1997) a vazão de água residual é maior no período entre 06h30min e 09h30min devido aos preparativos do público em geral para ir ao trabalho: uso do banheiro e cozinha para o café da manhã. Além disso, as atividades domésticas como lavagem de roupas e louças, preparação de almoço são realizadas durante a manhã o que aumenta a vazão de esgoto que chega à ETE. Com isso pode-se supor que, com uma maior vazão, o esgoto torna-se mais diluído diminuindo a quantidade de SST por litro.

As amostras A3 e A4, que foram coletas pela tarde, também apresentam diferenças entre si, os valores de SST das amostras afluente e efluente foram maiores na coleta A3. Tal diferença pode ser explicada pelas condições climatológicas. De acordo com os dados meteorológicos disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para estação automática Cruz das Almas – BA, estação mais próxima da cidade Murtiba – BA, no dia e horário da coleta A4 foi verificado índice pluviométrico igual a 1,4 mm, ao passo que no dia e horário da coleta A3 não apresentou chuva, o que tornou o esgoto A4 mais diluído que o A3, tornando sua

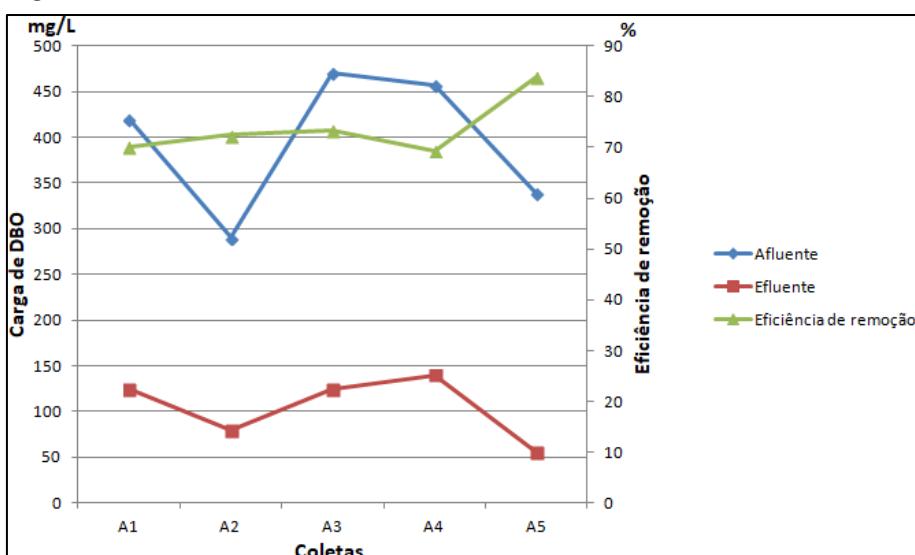
carga de SST menor. A quantidade de SST removido acompanhou as variações de carga de SST do esgoto, ou seja,

nas coletas em que houve maiores cargas de SST a quantidade de remoção também foi maior, indicando que a remoção de matéria orgânica através do processo anaeróbio que ocorre no reator UASB acompanha o aumento de carga orgânica no esgoto.

3.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA DBO5 DO ESGOTO E EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO

A figura 9 apresenta os resultados da demanda bioquímica de oxigênio das coletas realizadas.

Figura 9: Resultado das análises de DBO.



Fonte: Os Autores.

A eficiência média de remoção da DBO foi de 73 % (Tabela 2). Levando em consideração que as coletas em questão foram realizadas pela manhã, e que nesse período a vazão que chega na ETE é maior do que a que chega pela tarde, pode-se notar que a vazão tem uma relação direta com a diluição de matéria orgânica no esgoto.

A temperatura é um parâmetro que afeta as taxas de reações biológicas, quanto maior a temperatura maior será a atividade biológica. Na figura 9, pode- se observar que as coletas A3 e A4 obtiveram melhor desempenho na remoção bioquímica de oxigênio. As coletas em questão foram realizadas no período da tarde onde a temperatura em geral, é mais elevada, indicando uma maior atividade dos

microrganismos de compostores de matéria orgânica. A Tabela 3 apresenta o horário que foi realizado cada coleta bem como a temperatura equivalente, confirmado a relação entre a temperatura e os horários de coleta. Os dados de temperatura foram obtidos a partir da estação automática de Cruz das Almas – BA monitorada pelo INMET, estação meteorológica mais próxima da cidade de Muritiba.

Tabela 3: Temperatura identificada para o horário de cada coleta.

COLETA	HORÁRIO	TEMPERATURA (°C)
A1	09:00	20,0
A2	09:00	20,1
A3	14:00	23,4
A4	16:00	21,7
A5	09:00	17,6

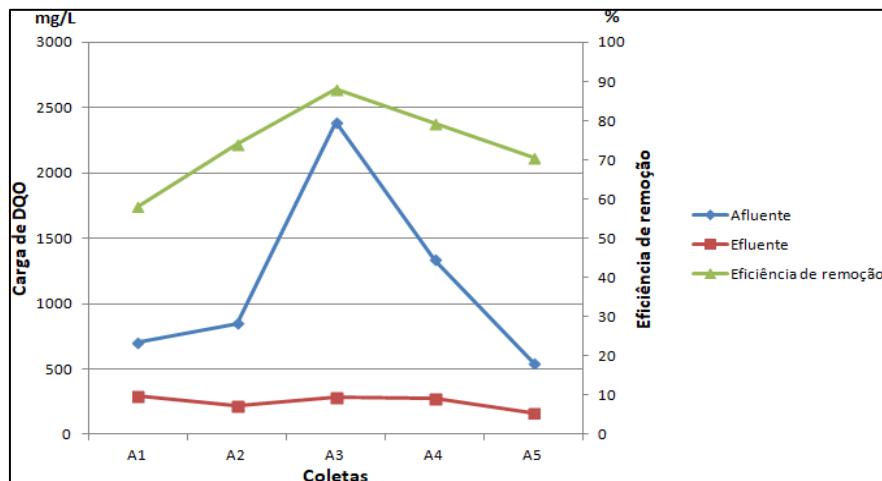
Fonte: INMET (2017).

De acordo com Jordão e Pessoa (2011) a eficiência de remoção de DBO nos tratamentos anaeróbios de esgoto está entre 45 a 85 %. No caso do DAFA, é desejável que o mesmo possua uma remoção média de DBO equivalente a 70 % e obtenha efluente com concentração inferior a 120mg/L. Através do gráfico podemos observar que o DAFA atende ao que é indicado por Jordão e pessoa (2011) onde todas as coletas apresentaram valores de eficiência próximos ou superiores a 70 %.

3.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA DQO DO ESGOTO E EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO

A figura 10 apresenta os resultados da Demanda Química de Oxigênio das coletas realizadas.

Figura 10: Resultados das análises DQO.



Fonte: Os Autores.

Como observado nos outros parâmetros, a vazão de entrada, que variou conforme o horário da coleta e as condições climáticas, interferiu na quantidade de matéria orgânica do afluente, onde as coletas A3 e A4, menos diluídas, apresentaram maiores valores de DQO.

A eficiência média de remoção de DQO foi de 79 %. Pode-se notar que quanto maior a quantidade de matéria orgânica nas amostras coletadas, maior foi a eficiência de remoção da carga de DQO, indicando que nas coletas realizadas à tarde, onde a temperatura é maior (Tabela 3), houve maior atividade dos microrganismos, portanto maior eficiência de remoção. Esses resultados refletiram diretamente na curva de DQO do efluente, a mesma apresentou valores similares em todas as coletas, com poucas variações na curva dos resultados. Tal resultado demonstra que o processo anaeróbio do UASB acompanha as variações de matéria orgânica ao longo do dia e que o tempo de detenção hidráulica do mesmo é suficiente pra permitir que a remoção de matéria orgânica do esgoto seja eficiente.

Vale a pena ressaltar que DBO e DQO medem a oxidação da matéria orgânica presente no esgoto, porém as mesmas ocorrem por vias diferentes. A diferença entre as duas pode ser notada nos resultados, onde os valores de DQO são mais altos que os resultados de DBO. Sabe-se que o poder de oxidação do dicromato de potássio (oxidante químico utilizado para medir a DQO) é maior do que aquele proveniente da ação de microrganismos, o que resulta mediante a ação de microrganismos, desta forma 62 os resultados da DQO de uma amostra são superior ao de DBO. Além disso, a DBO determina apenas a concentração de matéria orgânica biodegradável dos

esgotos enquanto que a DQO determina a matéria orgânica biodegradável ou não (VALENTE, PADILHA e SILVA, 1997).

3.5 QUANTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA DQO REMOVIDA (PRODUÇÃO TEÓRICA DE BIOGÁS) E POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO COMO FONTE DE ENERGIA PRIMÁRIA

A partir das equações (1), (2), (3) e (4), foi possível obter a produção de biogás a partir dos resultados de DQO removida, bem como o potencial de produção de energia elétrica do mesmo. Os dados encontram-se na tabela 4.

Tabela 4: Estimativa da produção de biogás e do potencial teórico e técnico de produção de eletricidade a partir da DQO removida na biodigestão anaeróbia do reator DAFA da ETE de Muritiba-BA.

Coleta	Vazão (m ³ /dia)	DQO removida (KgDQO/m ³)	Y (m ³ CH ₄ /Kg DQO removida)	Produção de Biogás (m ³ /dia)	PTE (kWh/dia)	PTCE (kWh/dia)
A1	959,9	0,41	0,14	87	565	141
A2	911,5	0,63	0,22	195	1266	317
A3	845,9	2,11	0,74	2028	13181	3285
A4	845,9	1,06	0,37	512	3327	832
A5	845,9	0,39	0,13	69	450	113
Média	881,8	0,92	0,32	578	3758	939

Fonte: Os Autores.

*Os valores obtidos para a produção de Biogás apresentaram grandes diferenças entre as coletas. Levando em consideração que a estimativa da produção de biogás é calculada com base na DQO removida do esgoto, os resultados obtidos podem ser justificados pelos fatores que contribuíram para a variação da DQO, conforme discutido anteriormente.

A DQO apresentou resultados que foram influenciados pelo horário da coleta e pelas condições climáticas. Os maiores valores de produção de biogás condizem com os dias em que houve maior carga de matéria orgânica no afluente, maior remoção de matéria orgânica nas coletas e temperatura mais elevada, como se sabe, a produção de biogás a partir da digestão anaeróbia sofre influência de fatores como quantidade de matéria orgânica e temperatura, portanto os resultados obtidos para produção de biogás a partir da DQO produzida estão razoavelmente coerentes.

A partir dos resultados obtidos, não só para produção de biogás, mas também para remoção de DQO, identifica-se que a quantidade de matéria orgânica no esgoto sofre variações ao longo do dia, além de variar conforme as condições climáticas. Com isso, pode-se concluir que para avaliar a produção de Biogás a partir da DQO removida deve-se realizar mais de uma análise de DQO ao longo do dia, para

contemplar os horários em que há picos e declínios de vazão afluente e matéria orgânica no esgoto, além de utilizar um período de análise que enquadre as épocas chuvosas e de estiagem para que se obtenha uma média que conte a máxima de variáveis interferentes possível.

A ETE de estudo produzirá uma média aproximada de 939 kWh/dia. De acordo com a resenha mensal da Empresa de Pesquisa Energética (2016) o consumo médio residencial do país no ano de 2015 foi de 161,8 kWh/mês, portanto o valor obtido para produção de energia elétrica da ETE de Muritiba seria suficiente para atender a uma comunidade composta por 175 habitantes.

3.6 QUANTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO DE METANO A PARTIR DO PROTÓTIPO DO REATOR UASB (PRODUÇÃO EXPERIMENTAL DE BIOGÁS) E POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO COMO FONTE DE ENERGIA PRIMÁRIA

Aos testes no protótipo foram iniciados após a modificação do protótipo de fluxo contínuo para batelada. Inicialmente, para realização da medição do metano produzido, testou-se o protótipo do reator acoplado ao Aparato I. O reator foi preenchido com água e após o período de 24 h esperava-se que o aparato permanecesse estanque tendo em vista que não havia a produção de gás. Em menos de 12 h o aparato I liberou NaOH indicando que o sistema não estava seguro e poderia comprometer a medição do volume de biogás.

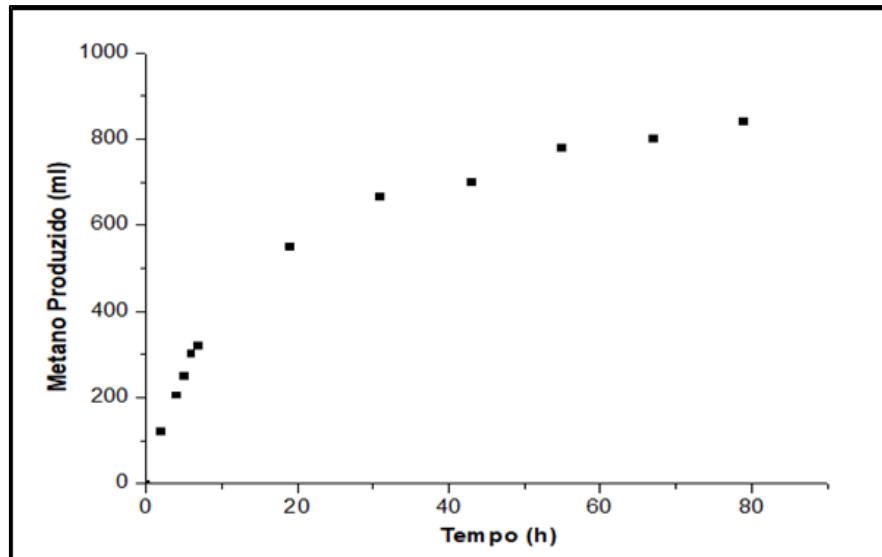
O teste com o aparato II foi realizado com o mesmo princípio que o teste do aparato I e o mesmo permaneceu estanque por mais de 24h, dessa forma definiu-se que o aparato II seria o mais adequado para realização da medição de metano produzido. Após certificação da vedação do protótipo e escolha do aparato a ser utilizado iniciou-se a operação do reator com o lodo e o afluente proveniente da ETE de Muritiba

Considerando a concentração ideal de lodo igual a 10 g SSV/L, a concentração do lodo coletado avaliada em 54 g SSV/ L e que o espaço ocupado pelo inoculo e substrato é de 4 L temos que a quantidade de lodo inserida no reator é de 0,74 L e os outros 3,25 L são destinados ao substrato.

A produção de metano foi verificada após 2 h do início do experimento, tempo necessário para o gás produzido ter volume e pressão suficientes para permitir que a água transpusesse o sifão da tubulação de saída do aparato II. Observou-se que a produção de metano aumentou até 79 h e encerrou a produção em seguida, ou seja, o tempo de detenção hidráulica do sistema foi de 79 h. Nesse período foram

produzidos 852,1 ml de metano. A produção acumulada de metano durante o experimento é ilustrada na Figura 11.

Figura 11: Produção acumulada de metano durante o funcionamento do protótipo.



Fonte: Os Autores

Até 7 h decorridas do início da produção, a medição foi feita a cada 1 h, após esse período aumentou-se o intervalo para 12 h. Considerando que a produção de metano aumenta até atingir a atividade biológica máxima e depois inicia o processo de decaimento pode-se afirmar que no primeiro intervalo de 12 h a atividade das bactérias ainda estava atingindo seus valores máximos, gerando um intervalo acumulado maior do que os outros de 12 h. A partir desse intervalo foi possível observar diminuição na produção de metano.

Os intervalos noturnos (31 a 43 h e 55 a 67 h) obtiveram menores volumes de metano do que todos os intervalos diários (43 a 53 h e 67 a 79 h), ou seja, o intervalo diário de um determinado dia, mesmo com decaimento em relação aos outros intervalos diários, apresentou valores mais altos que o intervalo noturno do dia anterior, indicando a influência da temperatura na produção de metano.

A produção de metano no protótipo do reator UASB foi de a 0,000259 $\text{m}^3\text{CH}_4/\text{dia}$. A partir das equações (3) e (4) obteve-se uma produção de eletricidade de 175,8 kWh/dia que, levando em consideração os hábitos de consumo da população brasileira, seria suficiente para atender as necessidades de uma pequena comunidade com 32 habitantes.

3.7 COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE ELETRECIDADE DO BIOGÁS OBTIDO A PARTIR DA PRODUÇÃO TEÓRICA DE BIOGÁS E DA PRODUÇÃO EXPERIMENTAL

A produção teórica média de biogás na ETE de Muritiba, para uma vazão afluente de 881,82 m³/dia, foi de 578 m³/dia. O biogás é composto de 65 % metano, portanto a ETE de Muritiba produz em média 375,7 m³/dia de metano. Nesse contexto, para uma vazão de 0,00325 m³/dia, temos que essa produção teórica de metano seria de 0,00138m³/dia. Para essa mesma vazão o protótipo do reator DAFA produziu 0,000259m³/dia de metano, dessa forma pode-se observar que a estimativa teórica de produção de metano é cerca de 5 vezes maior que a produção de metano medida no protótipo, Indicando que a obtenção da produção de biogás através da DQO removida está superestimada e que as variações ocorridas nesse parâmetro interferiram no resultado final.

Considerando que a coleta do afluente para o funcionamento do reator foi realizada pela manhã e que, como visto nos resultados das análises físico-químicas, as mudanças de vazão e temperatura devido aos diferentes horários de coleta ocasionou em diferentes resultados de produção de biogás, é justificável a utilização apenas da média das coletas realizadas pela manhã.

Partindo desse princípio, tem-se que para uma vazão média de 905,77 m³/dia obteve-se um resultado teórico 117,13 m³/dia de biogás, portanto a produção teórica de metano foi de 76,13 m³/dia, considerando a vazão igual 0,00325 m³/dia, a produção teórica de metano seria de 0,000273 m³/dia, valor este similar ao determinado através do protótipo que foi 0,000259m³/dia de metano, porém essa semelhança entre os resultados não invalida as equações teóricas, tendo em vista as incertezas originadas pelas influencias da temperatura na remoção de DQO e da vazão na concentração de carga poluidora no esgoto serem similares, devido ao mesmo horário de coleta.

A incerteza se deve ao espectro amostral que foi pequeno, sendo assim a utilização de uma amostra composta para realização do estudo eliminaria as dúvidas a respeito da confiabilidade do modelo teórico para estimativa da produção do biogás.

4. CONCLUSÕES

Com base nos dados analisados no reator DAFA da ETE de Muritiba, a eficiência de remoção de SST, DBO e DQO foi em média de 62 %, 73 % e 79 %, respectivamente. Como este é um tratamento primário, que visa a remoção de sólidos

sedimentáveis e parte da matéria orgânica, pode-se concluir que o Reator DAFA apresenta funcionamento adequado e remoção de carga orgânica dentro dos padrões determinados pela literatura. Dessa forma, se o tratamento secundário da ETE, composto por lagoas facultativas, for eficiente, ao final do processo o efluente apresentará características que cumprirão com o padrão de lançamento de efluentes determinado pela resolução nº 430 do CONAMA.

As condições climáticas e vazão de entrada, esta última determinada pelos horários de maior e menor consumo, influenciam na diluição da matéria orgânica no esgoto o que causou variabilidade nos resultados obtidos para concentração dos parâmetros no afluente. A temperatura influencia na eficiência de remoção da carga orgânica, onde quanto maior a temperatura, maior a atividade dos microrganismos, portanto maiores foram os resultados de eficiência de remoção.

A estimativa da produção de biogás a partir da digestão anaeróbia do reator DAFA da ETE de Murtiba apresentou média de 578 m³/dia, contudo com grande intervalo de incerteza. A grande variabilidade nos resultados é explicada pela variação da carga orgânica presente no esgoto nos dias da coleta. Dessa forma, pode-se concluir que a produção de biogás sofre variações ao longo do dia e que para determinação mais eficiente do quanto é produzido deve-se fazer um monitoramento mais eficiente das condições meteorológicas e da vazão de afluente ao longo do dia.

A estimativa da produção de eletricidade apresentou valor médio de 939 kWh/dia, onde sua elevada variabilidade está atrelada à variação da carga orgânica ao longo do dia. Considerando a média do consumo per capita mensal da população brasileira, essa quantidade seria suficiente para suprimento da necessidade de uma comunidade com 175 habitantes.

A produção de metano no protótipo do reator DAFA atingiu 852,1 ml de metano ao longo de 79 horas. Comparando os resultados teóricos da produção de biogás e os resultados obtidos com a construção do protótipo observa-se que, considerando todas as coletas (matutinas e vespertinas) os valores teóricos para produção de biogás foram superestimados em 5 vezes, porém utilizando apenas as coletas realizadas pela manhã, devido ao afluente utilizado no reator ter sido coletado nesse horário, o valor teórico é compatível com valor medido no protótipo. Dessa forma, pode-se concluir que características como pluviosidade e vazão de entrada influenciam diretamente na produção de biogás e que essa variação de produção pode ser observada ao longo do dia.

REFERÊNCIAS

- AQUINO, S. F. et al.; Metodologia para Determinação da Diversidade Metanogênica Específica (AME) em Lodos Anaeróbios. Artigo técnico; Vol.12 - Nº 2 - abr/jun 2007.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, Banco de Informações de Geração – BIG – Capacidade de geração do Brasil. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/Combustivel.cfm>. Acesso em: dezembro de 2017.
- BORGES, H. D. Avaliação da Produção de Biogás Gerado no Reator UASB da Estação de Tratamento de Esgotos Sanitários Paranoá – DF. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental); Universidade de Brasília, Brasília – DF, junho de 2016.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética, BEN Balanço Energético Nacional – 2016
- FARIA, R. A. P.; Avaliação do Potencial de Geração de Biogás e de Produção de Energia a Partir da Remoção da Carga Orgânica de uma Estação de Tratamento de Esgoto – Estudo de caso. Dissertação (Mestrado); Universidade Estadual do Oeste do Paraná; Cascavél- PR; Fevereiro. 2012.
- FERREIRA, F. A., Avaliação da Viabilidade do Tratamento de Líquidos Percolados em Estação de Tratamento de Esgoto, monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2008.
- GERVASONI, Ronald; Estudo da Produção de Metano a Partir da Biodigestão Anaeróbia: Relação entre teoria e prática. Trabalho de conclusão de curso, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologias da Universidade Tuiuti do Paraná. Curitiba-PR, 2011.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; Cidades: Bahia –Muritiba. 2015. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=290980&search=bahia|muritiba>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2018.
- INMET; Instituto Nacional de Meteorologia, Consulta Dados da Estação Automática: Cruz das Almas (BA); Disponível em: http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTQwNg Acesso em: setembro de 2017.
- JORDÃO, E. P.; PESSOA, A. C., Tratamento de Esgotos Domésticos. 6º edição. Rio de Janeiro, 2011.
- SANTOS, M. M., Produção e uso do Biogás no Brasil, Instituto de Energia e Ambiente (IEE), USP, São Paulo, 2016.
- PERCORA, Vanessa. Implantação de uma Unidade Demonstrativa de Geração de Energia Elétrica a Partir do Biogás de Tratamento de Esgoto Residencial da USP- Estudo de caso; Dissertação (Mestrado); Universidade de São Paulo; Programa interunidades de pósgraduação em energia; São Paulo; 2006.
- SCHNEIDERS, D. et. al., Atividade Metanogênica Específica (AME) de Lodos Industriais Provenientes do Tratamento Biológico Aeróbio e Anaeróbio, Ambi-Agua, Taubaté, v 8, n. 2, p. 135- 145, 2013.
- VALENTE, J. P. S.; PADILHA, P. M.; SILVA A. M. M. Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda

Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) como Parâmetros de Poluição no Ribeirão Lavapés/Botucatu – SP; Eclética Química, vol.22 São Paulo 1997.

CAPÍTULO 05

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA NA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA DA ÁGUA DE EMASSAMENTO NA DOSAGEM DO CONCRETO

Laecio Guedes do Nascimento

Graduando (a) em Engenharia Civil,

Instituição: Centro Universitário Santo Agostinho

E-mail: laecioguedes25@hotmail.com

Samuel Campelo Dias

Engenheiro Civil e Mestrando em Ciência e Engenharia dos Materiais,

Instituição: UFPI

E-mail: samuel.c.dias@hotmail.com

Laura Caroline Fontes Brito

Graduando (a) em Engenharia Civil

Instituição: Centro Universitário Santo Agostinho

E-mail: laura25fontes@gmail.com

Juliana Osternes Veloso

Graduando (a) em Engenharia Civil

Instituição: Centro Universitário Santo Agostinho

E-mail: osternesjuliana@gmail.com

Aurélio Miguel Costa da Fonseca

Graduando (a) em Engenharia Civil

Instituição: Centro Universitário Santo Agostinho

E-mail: aurelio22kl@gmail.com

Rebeka Manuela Lobo Sousa

Engenheira Civil e Mestranda em Ciências e Engenharia dos Materiais

Instituição: Centro Universitário Santo Agostinho

E-mail: rebekamanuela28@gmail.com

Sávio Torres Melo

Engenheiro Civil

Instituição: (UNINOVAFAPI) M.e – Estrutura e construção Civil – Universidade de Brasilia (UNB)

E-mail: savio.melo@hotmail.com

Aleff Oliveira Coelho Moura

Engenheiro Civil

Instituição: Centro Universitário Santo Agostinho

E-mail: aleffocm@hotmail.com

RESUMO: Dosagem do concreto para mensurar as variações em sua trabalhabilidade, e resistência à compressão. Existem outros estudos referentes à influência da temperatura, mas que diz respeito à temperatura ambiente, e da temperatura de cura

em relação às propriedades do concreto endurecido. O método utilizado nesta pesquisa foi a adoção de uma resistência padrão de 18 MPa a partir de uma dosagem de 1: 3,39: 3,31: 0,73 sendo cimento, areia média, seixo e água respectivamente, preparados mecanicamente em uma betoneira com intuito de se obter um material homogêneo, com a água em uma temperatura ambiente de 30°C como referência, e a partir destes parâmetros foram realizadas as mesmas dosagens com a alteração somente das temperaturas da água de emassamento, sendo alterações para 1° C, 8° C, 18° C, 30° C, 37° C, 41° C e 68° C a partir do aquecimento básico da água em recipiente com uso de fogão a gás, para temperaturas acima de 30°C, e resfriamento da água por um refrigerador, para temperaturas abaixo de 30°C, e atestadas as suas temperaturas com um termômetro. Foram realizados testes de abatimento de tronco de cone do concreto fresco (*Slump Test*), conforme NBR NM 67/98, a fim de verificar se houve alguma interferência na consistência na pasta de concreto que comprometa a sua trabalhabilidade para cada amostra, após isso foram feitas as moldagens de quatro corpos de prova cilíndricos de cada traço de acordo com a NBR 5738/15 e rompidos por compressão após 28 dias de cura com a utilização de Prensa Hidráulica.

PALAVRAS-CHAVE: Resistência do Concreto, Variação na temperatura, Reação exotérmica

ABSTRACT: The objective of this research is to analyze the influence of water in high and low temperatures used in the dosage of concrete to measure variations in its workability and compressive strength. There are other studies concerning the influence of temperature, but with respect to the ambient temperature, and the cure temperature in relation to the properties of the hardened concrete. The method used in this research was the adoption of a standard resistance of 18 MPa from a dosage of 1: 3,39: 3,31: 0,73 being cement, medium sand, pebble and water respectively, mechanically prepared in a concrete mixer with the aim of obtaining a homogeneous material with the water at an ambient temperature of 30 ° C as reference, and from these parameters the same dosages were carried out with the alteration only of the temperatures of the sewage water, being changes to 1 ° C , 8 ° C, 18 ° C, 30 ° C, 37 ° C, 41 ° C and 68 ° C from the basic heating of the water in a vessel with use of gas stove, for temperatures above 30 ° C, and cooling of the water by a refrigerator, for temperatures below 30 ° C, and their temperatures attested with a thermometer. Slump tests were performed, according to NBR NM 67/98, in order to verify if there was any interference in the consistency in the concrete pulp that compromises its workability for each sample. the moldings were made of four cylindrical specimens of each trace according to NBR 5738/15 and ruptured by compression after 28 days of curing using the Hydraulic Press.

KEYWORDS: Concrete resistance, Temperature variation, exothermic reaction

1. INTRODUÇÃO

Observa-se que um dos setores mais importantes para a economia do país está ligado a movimentação da construção civil. Esse setor é responsável, desde bem-estar das pessoas através de moradias e edificações até o desenvolvimento das cidades com infra-estrutura. Nesse cenário, há uma busca constante por melhores resultados na construção civil, objetivando, por exemplo, o aperfeiçoamento dos processos de construção, melhor execução dos serviços e diminuição de prazos. Assim o concreto é um dos materiais mais importantes e mais utilizados nesse setor na construção civil (VILLAR, 2004).

Os componentes internos do concreto é o cimento, água e agregados, podendo contar com aditivos, pigmentos, fibras, agregados especiais e adições minerais e para buscar características como trabalhabilidade para o transporte, lançamento e adensamento, além de propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade, a proporção entre os diversos materiais constituintes é buscada pela tecnologia do concreto (LANSINI, 2016).

Dentre os componentes que formam o concreto, a água e o cimento são os responsáveis pelo seu endurecimento. Tal reação é caracterizada como exotérmica, ou seja, libera calor, denominado calor de hidratação. A temperatura do ambiente influencia este calor, sendo problemático tanto o calor extremo quanto o frio extremo (ROMERO, 2018).

A Hidratação do cimento é admitida como sendo uma série de reações químicas que ocorrem pela combinação da água livre presente nos macros poros, atuando como reagente de fase, tornando- se água quimicamente ligada como uma fase do produto (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

A temperatura é o fator que mais afeta a cinética de reação na hidratação do cimento Portland. A taxa de hidratação do cimento, a estabilidade e a morfologia dos produtos de hidratação são fortemente dependentes deste parâmetro e a temperatura elevada acelera a hidratação do cimento. (CATALA *et al*, 1991).

No caso de dias muito quentes, o que ocorre é que o calor de hidratação é muito elevado, o que acaba aumentando a evaporação da água, retraindo o concreto e, consequentemente, gerando algumas fissuras no mesmo. Há algumas formas de se minimizar esses efeitos, tais como utilizar aditivos ou até cimentos com adições, como o CPIII, com 35% a 70% de escoria de alto forno, garantindo menor calor de hidratação. Já os dias mais frios (abaixo de 15 graus) garantem um baixo calor de

hidratação, o que retarda o endurecimento e diminui a resistência inicial. Esse retardo gera problemas principalmente para quem necessita de desforma rápida como, por exemplo, peças pré-fabricadas (SILVA; BATTAGIN, 2011).

É importante ressaltar os casos mais extremos, ou seja, abaixo de 10 graus e acima de 35 graus. No extremo frio, além do retardamento, pode-se ocorrer a paralisação do início de pega do cimento, ou seja, o concreto não reage e fica no estado fresco. Já no calor extremo, o início da pega pode ocorrer ainda no seu transporte, ou seja, as ramificações da partícula de cimento resultantes da reação cimento-água começam a se formar, mas a rotação feita pelo caminhão as quebra. As ramificações voltam a se unir, todavia a resistência do concreto é afetada, ocorrendo a sua diminuição, com isso, é importante observar que não é recomendado suceder concretagens em dias de temperaturas que ultrapassem 35 graus ou que estejam inferiores a 10 graus para que se obtenha o melhor resultado, sem afetar a qualidade da concretagem (RIBEIRO JR, 2015).

Segundo Bauer (2012) o grande interesse do conhecimento do valor do calor de hidratação é devido ao estudo do comportamento térmico de grandes concretagens. O cálculo do calor depende de vários fatores que podem intervir no fenômeno, como velocidade de reação, a variação do calor específico devido à grande concretagem, o coeficiente de condutibilidade térmica do concreto, dentre outros.

Nesse sentido, este trabalho tem o propósito de verificar a reação do concreto quando na sua composição é utilizada água para mistura com diferentes temperaturas, expondo como essas mudanças podem afetar seu comportamento, tanto no que se refere a resistência como no seu estado de consistência.

2. PROBLEMA ANALISADO

2.1 HISTÓRICO

As reações de hidratação do cimento portland tem sido área de estudo muito ativa e estudada com a evolução da construção civil, observando que a transformação da pasta de cimento ou de concreto de líquido a sólido é normalmente observada durante as primeiras horas após a mistura, e inicia quando a primeira estrutura se torna rígida. É geralmente abordado que as reações de hidratação são responsáveis por definir a estrutura deste compósito, mas ainda é desconhecido o processo dessas reações. É importante compreender os processos químicos (hidratação) e microestrutural (consolidação) e de que maneira estes se relacionam durante as

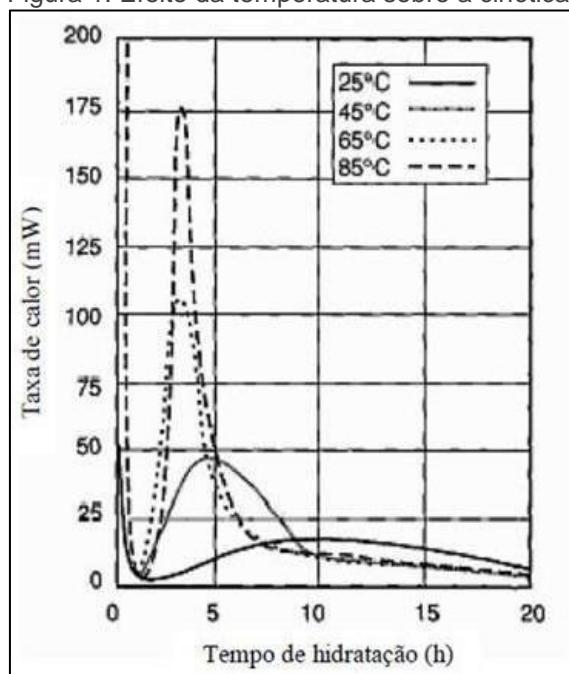
primeiras horas de hidratação, podendo assim prever e controlar o comportamento do concreto fresco. Embora o desenvolvimento de produtos de hidratação seja muito lento durante as primeiras horas, imediatamente após o cimento e a água entrarem em contato, uma camada gelatinosa aparece na superfície das partículas. Esta camada espessa à medida que prossegue a hidratação, formando um produto coloidal amorfo rico em óxido de cálcio, sílica e água. Este gel também é rico em alumina e contém quantidades substanciais de sulfato. Depois de umas poucas horas de hidratação, é possível identificar silicato de cálcio hidratado sobre a superfície dos grãos de cimento (PAREDES; BRONHOLO, 2013).

Nas primeiras horas de hidratação a cinética é bastante complexa, para se analisar através de métodos clássicos. Assim observa-se que este intervalo de tempo e a hidratação, é um processo muito lento, e é conhecido como o período de indução.

Observa-se que a temperatura é o fator que mais afeta a cinética, a reação na hidratação do cimento Portland. A taxa de hidratação do cimento, a estabilidade e a morfologia dos produtos de hidratação são fortemente dependentes deste parâmetro e a temperatura elevada acelera a hidratação do cimento (NELSON, 1990).

Segundo o mesmo autor, este fato pode ser observado na figura 01, em que as curvas de calorimetria mostram que o período de hidratação entre o início e final de pega é curto e a taxa de hidratação durante o processo é superior.

Figura 1: Efeito da temperatura sobre a cinética de hidratação do Cimento Portland (NELSON, 1990).



Fonte: Os Autores.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O método utilizado nesta pesquisa foi primeiramente a determinação de uma resistência padrão de 18 MPa a partir de uma dosagem de 1: 3,39: 3,31: 0,73, sendo utilizado cimento Portland CP II – E 32, areia média, seixo e água respectivamente, conforme estudo apresentado por Barboza e Bastos (2008), preparados mecanicamente para obter um material homogêneo, com a água em uma temperatura ambiente de 30°C como referência, e a partir destes parâmetros foram realizadas as mesmas dosagens com a alteração somente das temperaturas da água de emassamento. Para trabalhar a variação da temperatura da água foi necessário esquentá-la em um fogão ate chegar às temperaturas de 37°C, 41°C e 68°C e para determinação das temperaturas abaixo da ambiente, foi-se necessário deixa garrafas com água em um frízer chegando a atingir as temperaturas de 1°C, 8°C, 18°C sendo todas testadas com termômetro de mercúrio que pode atingir o máximo de 100°C. Foram realizados testes de abatimento de tronco de cone do concreto fresco (*Slump Test*), conforme NBR NM 67/98, a fim de verificar se houve alguma interferência na consistência da pasta de concreto que comprometa a sua trabalhabilidade para cada amostra, após isso foram feitas as moldagens de quatro corpos de prova cilíndricos de cada traço de acordo com a NBR 5738/15 e rompidos por compressão, conforme NBR 5739/18 após 28 dias de cura com a utilização de Prensa Hidráulica.

4. CARACTERIZAÇÕES DOS MATERIAIS

4.1 GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO

Após a secagem da areia em estufa numa temperatura de 105° a 110°C, foi separado 2000g do agregado miúdo e realizado o peneiramento conforme a NBR 7211/09 da série normal, conforme quadro abaixo.

Quadro 1: Abertura das peneiras – Séries normal e intermediária (NBR 7211, 2009).

SÉRIE NORMAL	SÉRIE INTERMEDIÁRIA
75 mm	-
-	64 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
-	32 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 μm	-
300 μm	-
150 μm	-

Fonte: Os Autores.

A areia, conforme sua distribuição granulométrica e seu módulo de finura (MF) e de acordo com a NBR 7211/09, podem ser classificados com base nos resultados de ensaio realizado em laboratório conforme quadro abaixo:

Quadro 2: Classificação do agregado miúdo utilizado no ensino (NBR 722, 2009).

AGREGADO MIUDO					
Peneiras		Total retido 1998			
nº	Mm	Peso retido	% retido	% retido acumulado	
3.8	9,50	0	-	0,25	
4	4,80	14	0,70	0,95	
8	2,40	17	0,85	1,80	
16	1,20	58	2,90	4,70	
30	0,60	896	44,84	49,55	
50	0,30	601	30,08	79,63	
100	0,15	398	19,92	99,55	
Fundo		14			
PESO INICIAL	2.000g	Módulo de finura		2,40	
		Diâmetro máximo (mm)		1,20	
CLASSIFICAÇÃO DA AREIA					
INFERIOR		$1,55 < \text{MF} < 2,20$		FINA	
ÓTIMO		$2,20 < \text{MF} < 2,90$		MÉDIA	
SUPERIOR		$2,90 < \text{MF} < 3,50$		GROSSA	

Fonte: Os Autores.

O agregado miúdo foi definido como areia média conforme quadro mostrado

anteriormente, pois seu módulo de finura está no intervalo entre 2,20 a 2,90. O resultado de uma análise granulométrica pode também ser interpretado muito mais facilmente quando representado por meio de gráficos, especificamente por curvas. Com a curva granulométrica é possível observar, de forma mais simples, se a granulometria da amostra se enquadra em uma especificação já existente, se é muito grossa ou muito fina, ou deficiente em um determinado tamanho. Na figura 02 mostra a pesagem da areia média e seu aspecto quando coletada e na figura 03 mostra o material retido nas peneiras.

Figura 2: Pesagem de Areia.



Fonte: Os Autores, 2020

Figura 3: M. Retido nas peneiras



Fonte: Os Autores, 2020

4.2 MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO MIÚDO

As normas que regulamentam o ensaio de massa específica do agregado miúdo são a DNER- ME 194/98 e NBR 9779/12. Este tipo de ensaio é feito para determinar o valor real do agregado, pois com a utilização de água dentro do frasco *Chapman* faz com que os espaços de ar existentes entre as partículas de areia sejam ocupados totalmente. O ensaio permite que o agregado seja calculado de melhor maneira para a elaboração do volume do traço de concreto, os resultados foram obtidos segundo a tabela abaixo.

Tabela 1: Ensaios de massa específica do agregado miúdo (DNER-ME 194, 1998).

MASSA ESPECÍFICA - AGREGADO MIÚDO	
MASSA (g)	500
VOLUME INICIAL (ml)	200
	2,62g/cm ³
VOLUME FINAL (ml)	391
VOLUME DIFERENCIAL (ml)	191

Fonte: Os Autores.

A determinação da massa específica de agregado miúdo é feita, conforme estabelece a NBR 9779/12, com auxílio do frasco especial, denominado frasco de *Chapman*, que permite medir o volume total ocupado pelos grãos da amostra de agregado, cuja massa é previamente medida em estado seco. Abaixo é demonstrado o frasco utilizado para o ensaio de massa específica do agregado miúdo (Figura 04).

Figura 4: Frasco de *Chapman* preenchido



Fonte: Os Autores, 2020

5. DOSAGEM DOS MATERIAIS

Todos os materiais foram pesados e colocados na betoneira para mistura conforme a NBR 6118/14, da seguinte maneira; primeiro foi adicionado 50 % da água na temperatura inicial ou ambiente 30°C com o seixo, dando-se inicio a mistura, em seguida o cimento, areia e o restante da água deixando mistura até que o concreto apresentasse uma textura (homogeneidade) adequada para o estudo, conforme as figuras 5, 6, 7 e 8.

Figura 5: Pesagem do cimento.



Fonte: Os Autores, 2020.

Figura 6: Início da mistura.



Fonte: Os Autores, 2020.

Figura 7: Pesagem do seixo.



Fonte: Os Autores, 2020.

Figura 8: Concreto após mistura.



Fonte: Os Autores, 2020.

6. MOLDAGENS DOS CORPOS DE PROVA

Após o preparo do concreto com diferentes temperaturas da água de emassamento, primeiramente foram verificadas as temperaturas para cada amostra com o uso de um termômetro (figura 09) com isso obtendo uma faixa de variações, entre elas as temperaturas de 1° C, 8° C, 18° C, 30° C 37° C, 41° C e 68° C, depois foram determinados os testes do tronco de cone (figura 10), para verificar a consistência da massa do concreto e depois utilizadas nas moldagens nos cilindros 10/20.

Figura 9: Temperatura do concreto.



Fonte: Os Autores, 2020.

Figura 10: Altura do adensamento.



Fonte: Os Autores, 2020.

7. ROMPIMENTOS DOS CORPOS DE PROVA

Os rompimentos são definidos pela seguinte norma NBR 5739/18, que consiste na resistência à compressão dos corpos de provas cilíndricos. Para realização desse ensaio foram moldados testemunhos em conformidade com a NBR 5738/15 para obedecer às seguintes variações de temperatura da água 1° C a 68° C. O rompimento dos corpos de prova geralmente é rompido em vários intervalos de tempo 7,14,21 e 28 dias, mas para esta pesquisa decidiu-se rompê-los após a cura de 28 dias. Os testemunhos ficaram submersos em um tanque com água durante o tempo de cura e

após isso foram rompidos utilizando uma prensa Hidráulica com leitor digital (figura 11).

Figura 11: Rompimento dos corpos de prova.



Fonte: Os Autores, 2020.

8. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao romper os corpos de prova foram obtidos os resultados e analisados (quadro 03). Pode- se perceber que com a variação de temperatura ambiente, 30º C, para maiores ou menores temperaturas teve mudanças significativas.

Os resultados que demonstram que quando é utilizado água com temperatura de 8º C, 18º C e 37º C houve um aumento da resistência à compressão do concreto em relação a temperatura ambiente de 30º C de 18 MPa para 20,3 MPa, 20,1 MPa e 22,2 MPa respectivamente, com uma variação na consistência do concreto fresco que tem como padrão 21 cm de abatimento com a temperatura de 30º C variando assim de acordo com as temperaturas informadas acima 14cm, 14,8cm e 16cm já as amostras com a utilização da água com temperatura de 1º C, 41º C e 68º C houve uma diminuição da resistência a compressão para 11,9 Mpa, 16,9 Mpa e 10 Mpa apresentando também uma variação na consistência do concreto sendo 13,9 cm, 16,9

cm e 9,4 cm quando comparado com padrão.

Quadro 3: Resultados dos rompimentos dos corpos de prova.

Temperatura	28 dias		Média (Mpa)
	Carga tf	Carga Mpa	
1°C	9,77	12,44	11,89
	9,58	12,20	
	10,33	13,15	
	7,67	9,77	
8°C	18,03	22,96	20,35
	15,27	19,44	
	15,92	20,27	
	14,71	18,73	
18°C	17,58	22,38	20,10
	13,88	17,67	
	18,03	22,96	
	13,65	17,38	
30°C	15,86	20,19	18,02
	15,08	19,20	
	13,22	16,83	
	12,46	15,86	
37°C	16,92	21,54	22,18
	21,89	27,87	
	20,49	26,09	
	10,38	13,22	
41°C	13,81	17,58	16,94
	17,09	21,76	
	10,31	13,13	
	12,00	15,28	
68°C	6,42	8,17	10,02
	7,17	9,13	
	10,67	13,59	
	7,21	9,18	

Fonte: Os Autores.

Seu impacto nos resultados é observado quando aumentamos ou diminuímos extremamente as temperaturas, como é mostrado na temperatura de 1°C, que para a temperatura de 30°C tinha como padrão uma resistência de 18 Mpa e com a queda da temperatura houve também uma grande redução na sua resistência, passando para 11,9Mpa. Considerando a elevação temperatura em 68°C, ou seja, na elevação da temperatura, também houve uma diminuição na resistência passando de 18 Mpa para 10,02 Mpa. À medida que as temperaturas foram diminuindo ou aumentando teve variações

nas resistências demonstrando a importância do controle das temperaturas da água de emassamento.

Quando o aumento ou a diminuição da temperatura está próximo de 30º C há um leve aumento podendo ser considerado como um favorecimento, mas suas propriedades em relação a outros fatores merecem ser estudados.

9. CONCLUSÕES

Conclui-se que deve haver um cuidado ao utilizar água com temperaturas variadas, interferindo diretamente tanto na consciência como na resistência final do concreto. A diminuição da resistência pode ter ocorrido devido à mudança do calor de hidratação da massa de concreto e por alguns fatores externos como temperatura ambiente, processo de cura. Essa reação pode ter ocorrido pela dificuldade da elevação adiabática da temperatura do concreto que está ligado também ao calor de hidratação.

Percebe-se também que em todas as variações de temperaturas o teste de abatimento do cone foi inferior a 21cm, que é o abatimento da amostra de 30º C, mostrando que ao varia a temperatura o concreto permaneceu mais consistente, podendo comprometer a moldagem das peças estruturais ou até a cura.

Sugere-se como estudo futuro o estudo mais detalhado as propriedades do concreto fresco e endurecido com o uso da água em várias temperaturas considerando o seu transporte e trabalhabilidade.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRADE NORMAS TÉCNICAS NBR 5738: Concreto-Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, 2015, 9p.

_____. **NBR 5739:** Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, Rio de Janeiro, 2018, 9p.

_____. **NBR 6114:** Projeto de estruturas de concreto - Procedimento, Rio de Janeiro, 2018, 238p.

_____. **NBR 7211:** Agregados para concreto - Especificação, Rio de Janeiro, 2009, 12p.

_____. **NBR 9779:** Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade, Rio de Janeiro, 2012, 3p.

_____. **NBR NM 67:** Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, Rio de Janeiro, 1998, 8p.

BARBOZA, M. R; BASTOS, P. S. Traços de concreto para obras de pequeno porte. **Concreto e Construção**, v. 36, IBRACON, p. 32-36, 2008.

BAUER, F. L. A. **Materiais de construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CATALA, G. et al. Modernizing Well Cementing Design and Evaluation. **Oilfield Review**, p. 55- 71, 1991.

DNER – ME 194. Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1998, 4p.

LANSINI, B. **Influência da temperatura de cura na resistência à compressão do concreto.** Trabalho de conclusão de curso. Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 78p, 2016.
MEHTA, P. KUMAR.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. 4a Edição. São Paulo: Pini, 1994. 581p.

NELSON, E. B. **Well Cementing**. Newnes, ed. 1, vol. 28, 1515p, 1990.

PAREDES, D. C. A; BRONHOLO, J. H. **Efeitos da temperatura da água de amassamento na resistência do concreto.** Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Tecnologia do Concreto, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

RIBEIRO JR, E. Propriedades dos materiais constituintes do concreto. **Revista IPOG**, n 10, vol. 1, 2015.

ROMERO, J. R. **Efeitos da temperatura do concreto. Portal do concreto.** 2018. Publicado em:< <https://www.portaldoconcreto.com.br/efeitos-da-temperatura>>. Acessado em: 26 mai 2019.

CAPÍTULO 06

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA WEB (SIG WEB) PARA A ÁREA DE SANEAMENTO BÁSICO UTILIZANDO TECNOLOGIAS LIVRES

Helder Guimarães Aragão

Mestre em Sistemas e Computação

Instituição: Centro Universitário Estácio da Bahia – Estácio FIB

Endereço: Rua das patativas, 291, apto 1002, Imbui, Salvador Bahia

E-mail: helderaragao@gmail.com

RESUMO: O presente trabalho descreve o desenvolvimento de uma ferramenta SIG (Sistema de Informação Geográfica) para Web, utilizando software livre, com a finalidade de disseminar as informações geoespaciais da Empresa Baiana de Águas e Saneamento (EMBASA). A EMBASA é a concessionária responsável pelo abastecimento de água e coleta de esgoto de um grande número de municípios do Estado da Bahia. Este artigo descreve, também, a etapas do processo implantação do SIG Web na Empresa, bem como os resultados desta implantação. O sistema mostrado neste artigo vem possibilitando tomadas de decisão mais acertadas nas áreas comercial e operacional da referida organização.

PALAVRAS-CHAVE: SIG Web, Software Livre, Saneamento.

ABSTRACT: This work describes the development of a GIS (Geographic Information System) tool for the Web, using free software, with the purpose of disseminating the geospatial information of the Bahian Water and Sanitation Company (EMBASA). EMBASA is the concessionaire responsible for water supply and sewage collection in a large number of municipalities in the State of Bahia. This article also describes the stages of the implementation process of GIS Web in the Company, as well as the results of this implementation. The system shown in this article has been enabling better decision making in the commercial and operational areas of that organization.

KEYWORDS: SIG Web, Free Software, Sanitation.

1. INTRODUÇÃO

Ultimamente, o Geoprocessamento e a sua tecnologia SIG (Sistemas de Informação Geográfica) tem despertado muito interesse das grandes organizações e concessionárias de serviços públicos, como saneamento e energia. O SIG permite uma visão espacial das informações associada aos bancos de dados, favorecendo uma gestão comercial e operacional mais efetiva. Um SIG pode apoiar desde atividades relacionadas com a área operacional da empresa até o nível estratégico (CÂMARA, 1996). Embora os benefícios de implementação de um projeto deste porte sejam conhecidos, geralmente, o seu processo de implantação possui um custo alto e exige das organizações a necessidade de contratação de consultorias e grupos de pesquisa específicos.

Além disso, para a implantação de um projeto SIG é importante fazer uma análise técnica detalhada do ambiente de Tecnologia da Informação existente na empresa. Em função de todos os aspectos já citados, são poucas as empresas que estão preparadas para implantação deste tipo de projeto. Neste contexto, este artigo mostra uma alternativa de desenvolvimento e implantação de um tipo de SIG sem agregar quaisquer custos de licenças de software. O presente trabalho, portanto, descreve o processo de construção de um SIG Web com tecnologias livres e sem custo e a sua implantação em uma concessionária de serviços públicos da área de saneamento básico.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Na primeira fase do projeto, foi realizada uma revisão do cadastro técnico comercial e operacional da Empresa. Esta fase visou detectar problemas nestes cadastros para que as devidas correções nas bases cartográficas fossem feitas.

Superada a primeira fase, foram estudadas as tecnologias de disponibilização de mapas em ambiente Web, destacando-se aquelas que utilizavam tecnologias livres e que não exigissem custos com licenças de software (SOFTWARE LIVRE, 2010) (DAVIS, 2007). Dentre as tecnologias estudadas, foram adotados o ambiente GeoMoose com servidor de mapas MapServer e o Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados Postgresql com suporte a dados geográficos (GEOMOOSE, 2010).

O MapServer e o Postgresql foram escolhidos após várias pesquisas feitas pela equipe de Geoprocessamento da própria Empresa. Percebeu-se que estas tecnologias, embora livres e sem custo com licença, eram robustas e bastante

utilizadas para desenvolvimento de Sistemas de Informação Geográfica para a Web (SIG Web).

Após a fase de definição tecnológica, foi desenvolvido o primeiro protótipo do SIG Web abrangendo a base cartográfica da Capital do Estado da Bahia - Salvador. À medida que o protótipo era disponibilizado para uso e testes dentro da Empresa, novos requisitos funcionais do SIG Web foram levantados junto aos principais usuários. Estes requisitos seriam implementados na versão final do Sistema.

Depois dos testes realizados com o protótipo, utilizou-se a ferramenta SIGWeb Builder para otimizar o desenvolvimento do sistema para as outras unidades atendidas pela Empresa. Esta ferramenta prover uma interface gráfica intuitiva para a construção de SIG Web. Desta forma, o desenvolvedor precisa se preocupar, basicamente, com as camadas de informação e mapas temáticos que irão compor o SIG Web (ARAGÃO e CAMPOS, 2009).

Por fim, os usuários do SIG Web foram comunicados a respeito do projeto, que foi denominado de GEOWEB, e da sua potencialidade. Um treinamento foi ministrado para os usuários de Geoprocessamento da Empresa. Finalmente, uma ferramenta de monitoramento de acessos do sistema foi desenvolvida visando registrar a quantidade de acessos e o efetivo uso do SIG Web.

3. RESULTADOS

A implantação do SIG Web tornou os dados geográficos mais acessíveis por um maior número de usuários. As gestões comercial e operacional foram melhoradas. A seguir serão descritas estas melhorias.

Gestão na área comercial: Os gestores e diversos usuários da organização utilizam os mapas disponibilizados no SIG Web para revisar o cadastro técnico e visualizar a concentração dos consumidores, bem como agrupá-los por sua classificação (potenciais, factíveis, ligados, suprimidos, grandes consumidores e cortados). A partir destas informações, torna-se possível estabelecer níveis de atendimento, evidenciar tendências, padrões espaciais e classificar os consumidores de diversas formas.

A Figura 1 mostra o exemplo de uso de um mapa temático. Um mapa temático visa classificar os dados espacialmente a partir de algum critério definido. Nesta Figura, o usuário está visualizando o mapa temático de grandes consumidores. Neste

caso, o SIG Web destaca com pontos na cor azul os grandes consumidores e com pontos na cor vermelha os outros consumidores. Desta forma, pode-se perceber a concentração de dois grandes consumidores em uma mesma região.

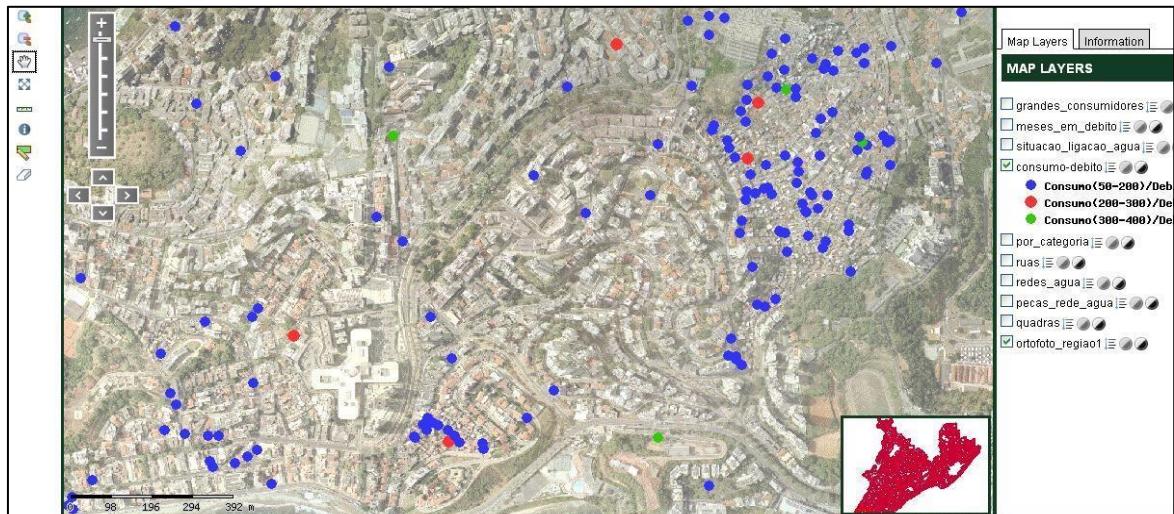
Figura 1: Visualização de um mapa temático de grandes consumidores.



Fonte: Os Autores.

A Figura 2 mostra outro exemplo de mapa temático. O mapa temático desta Figura classifica os consumidores quanto ao consumo médio e faturas em atraso. Desta forma, podem ser percebidas concentrações de consumidores com consumo alto e débitos pendentes. Isso sugere à área comercial políticas comerciais em determinadas regiões.

Figura 2: Mapa temático de consumo e débitos de consumidores.



Fonte: Os Autores.

Gestão na área operacional: A partir do SIG Web desenvolvido, pode-se visualizar e consultar dados das redes de abastecimento de água, como o diâmetro e o tipo de material. Além disso, é possível ver no mapa a distribuição das conexões destas redes.

A Figura 3 mostra um exemplo de visualização das redes de abastecimento de água e suas conexões. Estas redes estão representadas com as linhas na cor azul. O SIG Web possui ainda uma camada de informação com ortofotos, que pode ficar como plano de fundo, enriquecendo bastante a visualização do mapa

Figura 3: Visualização das redes de distribuição de água e suas conexões.



Fonte: Os Autores.

Na área operacional, está disponível também uma visão espacial das redes de esgoto da Empresa, conforme pode ser visto na Figura 4. Neste caso, os usuários podem ver a distribuição das redes de esgoto (linhas verdes) e as áreas que são atendidas.

Figura 4: Visualização das redes de esgoto.



Fonte: Os Autores.

Alinhamento do Cadastro Comercial com o Cadastro Operacional: As informações no SIG Web estão divididas em camadas de informação e podem ser facilmente integradas e sobrepostas. Portanto, o usuário tem visões inéditas dos dados comerciais em conjunto com os dados operacionais. Desta forma, o gestor pode tomar determinadas decisões e responder a questões do tipo:

- É viável fazer uma extensão de rede em uma área com grande concentração de consumidores potenciais?
- Qual o motivo de uma área ter grande concentração de ligações factíveis?
- Se a empresa tem uma rede de distribuição em determinada área, por que alguns consumidores não estão ligados a ela?

Para dar suporte a tomadas de decisão e fazer análises espaciais complexas como aquelas supracitadas, o uso de uma ferramenta SIG é imprescindível. Responder as questões anteriormente citadas apenas com dados tabulares se torna inviável ou demandaria um tempo maior do gestor.

4. CONCLUSÕES

O desenvolvimento do SIG Web descrito neste artigo permitiu a solução de alguns problemas no cadastro técnico e operacional e exigiu que alguns processos internos fossem revisados. Vale destacar que o SIG Web desenvolvido neste artigo é baseado em tecnologias livres sem qualquer custo com licença, o que possibilitou uma economia significativa para a Empresa. Além disso, estas tecnologias livres podem ser personalizadas para outros contextos. Como trabalhos futuros ficam:

- A implementação de outros módulos, tais como: módulo de atendimento, que terá como foco os usuários das lojas de atendimento e o módulo de intervenção, que irá mostrar as áreas das cidades que estão tendo algum tipo de intervenção operacional;
- Acréscimo de outras cidades que são atendidas pela EMBASA no projeto.

REFERÊNCIAS

ARAGÃO, H.G. e CAMPOS, J.A.P. SIGWEB BUILDER: Uma Ferramenta para Desenvolvimento de SIG Web em Ambientes Livres e Gratuitos. Salvador, 2009. Dissertação de Mestrado. Universidade Salvador - UNIFACS. 2009.

CÂMARA, G. (et. al). Anatomia dos Sistema de Informação Geográfica. Institituto de Computação. UNICAMP. 1996.

DAVIS SCOTT. GIS for Web Developers, Adding where to your Web Applications. The Pragmatic Programmers. 2007.

GEOMOOSE. Disponível em: <http://www.geomoose.org/>. Último acesso em: 08/11/2010.

SOFTWARE LIVRE. Disponível em: <http://www.softwarelivre.gov.br/>. Último acesso em: 15/11/2010.

CAPÍTULO 07

PRÉ-ALGORITMOS - AÇÕES DE APOIO À MELHORIA DO ENSINO DE GRADUAÇÃO.

Reudismam Rolim de Sousa

Doutor em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Instituição: Departamento de Engenharias e Tecnologia Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Endereço: Rodovia BR-226, s/n, Pau dos Ferros - RN, 59900-000 - Brasil

E-mail: reudismam.sousa@ufersa.edu.br

Felipe Torres Leite

Mestre em Ciência da Computação pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Instituição: Departamento de Engenharias e Tecnologia Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Endereço: Rodovia BR-226, s/n, Pau dos Ferros - RN, 59900-000 - Brasil

E-mail: felipe.leite@ufersa.edu.br

Ádller de Oliveira Guimarães

Doutor em Engenharia Elétrica e de Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

Instituição: Departamento de Engenharias e Tecnologia Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Endereço: Rodovia BR-226, s/n, Pau dos Ferros - RN, 59900-000 - Brasil

E-mail: adller.guimaraes@ufersa.edu.br

Assunaueny Rodrigues de Oliveira

Bacharel em Tecnologia da Informação pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Instituição: Departamento de Engenharias e Tecnologia Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Endereço: Rodovia BR-226, s/n, Pau dos Ferros - RN, 59900-000 - Brasil

E-mail: assunauenyufersa@gmail.com

RESUMO: Os cursos na área de computação requerem que os estudantes resolvam problemas por meio de algoritmos. Logo, os alunos precisam desenvolver o raciocínio lógico para resolver estes tipos de problemas, o que pode se tornar um desafio para alguns estudantes. Desta forma, várias abordagens foram desenvolvidas para minimizar este problema, tais como o uso de juízes online e linguagens de programação por blocos. Porém, não há uma solução consolidada para ensinar algoritmos. Neste trabalho, é proposta a criação de uma disciplina denominada “Pré-Algoritmos” para auxiliar os estudantes com dificuldades no componente curricular “Algoritmos”. Como resultado, foi identificado que os alunos aprovados em Pré-Algoritmos obtiveram um melhor desempenho em Algoritmos.

PALAVRAS-CHAVE: Algoritmos, Educação, Computação.

ABSTRACT: Courses in the computing area require that students solve problems using algorithms. Therefore, students need to develop the logical thinking to solve these types of problems, which can become a challenge for some students. Thus, several approaches have been proposed to address this problem, such as the use of online judges and block-based programming languages. However, there is no consolidated solution to teach algorithms. In this work, it is proposed to create a class entitled “Pré-Algoritmos” to assist students with the class “Algoritmos”. As a result, it was identified that the students that were approved in Pré-Algoritmos obtained better performance in Algoritmos.

KEYWORDS: Mineral nutrition; Genetic materials; Leaf diagnosis.

1. INTRODUÇÃO

Ao entrar em um curso superior na área de computação, os alunos precisam desenvolver a habilidade de resolver problemas por meio de linguagens de programação. Desta forma, eles necessitam desenvolver o raciocínio lógico e a capacidade de abstração, o que se torna um desafio para alguns estudantes [Moreira et al. 2018]. Em especial, os discentes do Bacharelado Interdisciplinar em Tecnologia da Informação (BTI) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), campus Pau dos Ferros, vêm apresentando dificuldades na compreensão teórico-prática do componente curricular denominado de “Algoritmos”. Isto vem causando problemas de repetência, evasão e desmotivação para o componente curricular. Notadamente, há um alto grau de insucessos, ao longo dos semestres letivos, como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1: Insucessos em Algoritmos

Período	Insucessos	Discentes	%
2015.2	64	79	81 %
2016.1	64	115	56 %
2016.2	97	111	87 %
2017.1	91	130	70 %
2017.2	99	150	66 %

Fonte: Autoria própria

Como pode ser visto na Tabela 1, a taxa de insucesso ao longo de dois anos e meio (cinco semestres) atinge mais de 50 % dos discentes matriculados na referida disciplina. Por ser um componente curricular de primeiro período no referido bacharelado, uma das possíveis causas para estes altos índices é alguma insuficiência de conhecimento referente à formação da educação básica apresentada por alguns ingressantes no curso. Acrescenta-se a isto a dificuldade de interpretação de exercícios que podem ser resolvidos por meio de algoritmos [Queiroz et al. 2018]. Tais problemas dificultam o desenvolvimento do raciocínio lógico dos alunos, indispensável à criação de algoritmos. Outra possível causa é a desmotivação dos discentes para superar as suas dificuldades, utilizando recursos de aprendizagem complementares oferecidos pela universidade, tais como a monitoria ou mesmo

estudar com a frequência desejada [Moreira et al. 2018].

Diante deste cenário, é necessário buscar soluções para reduzir estas taxas de insucessos e este trabalho propõe um projeto com ações de apoio à melhoria do ensino de graduação, buscando novas estratégias de ensino de programação visando contemplar os alunos ingressantes em BTI, na tentativa de reduzir estes problemas.

Neste projeto, criou-se um curso intitulado de “Pré-Algoritmos”, que funciona como uma monitoria, porém, similar a um componente curricular tradicional. Nele, são abordadas propostas de ensino-aprendizagem que buscam desenvolver a lógica de programação, com respeito aos conteúdos já abordados no componente curricular Algoritmos, com enfoque em atividades práticas. Pré-Algoritmos ocorre concomitantemente a Algoritmos e, para obter sucesso no curso, os alunos são avaliados pela frequência e cumprimento de tarefas, ao invés de uma nota média, como nos componentes tradicionais.

Como metodologia de ensino-aprendizagem, o curso incentiva os estudantes a resolverem problemas de programação de juízes online, como, por exemplo, o URI [BEZ e TONIN 2014], desenvolvido pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), o que também os motivam a participarem de competições de programação. Além disso, inicialmente há um enfoque no uso de linguagem de blocos como *Scratch* [MIT 2019] e *Code.org* [Code.org 2019], no momento em que o aluno possui pouco ou nenhum contato com programação, que são comumente utilizadas nesse contexto [Santos et al. 2018].

O projeto Pré-Algoritmos foi aplicado durante o ano letivo de 2018, totalizando dois semestres (2018.1 e 2018.2).

1.1 OBJETIVO GERAL

Pretende-se por meio deste projeto fornecer para os alunos do curso de BTI da UFERSA, campus Pau dos Ferros, os fundamentos teóricos e práticos básicos necessários para um melhor desempenho no componente curricular “Algoritmos”.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reduzir o número de insucessos no componente curricular “Algoritmos”;
- Desenvolver no aluno bolsista à prática docente;
- Elaborar e aplicar exercícios complementares para auxiliar estudos para o componente curricular “Algoritmos”.

2. PRÉ-ALGORITMOS

O curso de Pré-Algoritmos objetiva desenvolver o raciocínio lógico dos alunos iniciantes em Algoritmos do curso de BTI. Durante o curso, os discentes solucionam diversos exercícios de acordo com os conteúdos vistos em sala de aula no decorrer do componente Algoritmos. As tarefas são selecionadas de uma plataforma com problemas típicos de maratonas de programação, com níveis de complexidade variados, do nível iniciante ao nível avançado. Por tratar-se de um curso introdutório, foram usados apenas problemas de nível iniciante.

2.1 METODOLOGIA

Inicialmente, os participantes do projeto se reuniram com os docentes que ministraram ou ministram Algoritmos na instituição para identificar as dificuldades enfrentadas pelos alunos já identificadas. Também foram analisados os principais pontos apresentados pela literatura sobre as adversidades enfrentadas pelos estudantes [Moreira et al. 2018, Queiroz et al. 2018].

Para saná-las, foram desenvolvidas iniciativas para ensino de algoritmos que buscaram o desenvolvimento do raciocínio lógico, utilizando Tecnologias de Informação e Comunicação em Educação – TICs de apoio ao aprendizado, tais como a linguagem *Scratch* e o ambiente de aprendizado *Code.org*, bem como novas metodologias de ensino.

Os participantes do projeto lecionaram o curso Pré-Algoritmos, durante quatro horas semanais, totalizando sessenta horas, ao longo de um semestre. Durante o curso, são propostas aos alunos tarefas de programação, que podem ser respondidas em uma linguagem de programação, tais como *VisualG* [VisualG 2019] e *C* [Deitel e Deitel 2011], ou em uma linguagem de blocos.

Foram determinados horários de atendimento aos alunos beneficiados pelo projeto para poderem tirar dúvidas com um docente associado ao projeto. Além disso, o aluno bolsista auxiliou o professor de Pré-Algoritmos na aplicação de listas de exercícios em sala de aula.

Para selecionar os alunos participantes, foi realizada uma chamada pública, efetuada pela Secretaria das Coordenações de Cursos, buscando atender o máximo de alunos.

O projeto Pré-Algoritmos foi aplicado durante o ano letivo de 2018, totalizando dois semestres (2018.1 e 2018.2).

2.2 BOLSISTA

O projeto recebeu um bolsista no último semestre de execução, com dedicação de doze horas semanais e as seguintes atribuições:

- Atender aos alunos beneficiados pelo projeto, apoiando e tirando dúvidas referentes aos conteúdos ministrados em sala de aula;
- Auxiliar o coordenador na elaboração de listas de exercícios, materiais didáticos e resumos;
- Auxiliar na criação de um site *web* para divulgar o projeto e os materiais desenvolvidos pela equipe;
- Aplicar e resolver listas de exercícios com os alunos beneficiados pelo projeto;
- Comunicar semanalmente ao coordenador do projeto as principais análises sobre os alunos e eventuais solicitações dos mesmos.

O bolsista foi cedido pelo projeto ações de apoio à melhoria do ensino de graduação – AAMEG, da UFERSA. O coordenador do projeto avaliou o bolsista semanalmente mediante o cumprimento das atividades propostas, tendo ele obtido êxito na execução dessas atividades.

2.3 URI *ONLINE JUDGE*

O URI é um juiz *online* parte de um projeto sendo desenvolvido pelo Departamento de Ciência da Computação da URI, tendo como principal objetivo o de promover a prática de programação e o compartilhamento de conhecimento [BEZ e TONIN 2014]. O URI possui problemas em diferentes categorias, tais como problemas para iniciantes, matemáticos ou mais complexos envolvendo grafos. Os exercícios do URI foram escolhidos, pois são descritos de forma detalhada, usando diferentes formas de explanação. Por exemplo, uma questão do URI apresenta uma descrição geral do exercício, uma descrição da entrada e da saída esperada e exemplos de entradas e saídas para o problema. Na Figura 1, pode ser visto um exemplo de uma questão do URI.

Como pode ser visto na Figura 1, o padrão de exercícios do URI possui o nível de dificuldade, uma descrição do problema, o que é esperado como entrada e saída, além dos exemplos de entrada e saída, para que o estudante consiga responder o problema seguindo as regras propostas.

Figura 1: Exemplo de uma questão do URI.

URI Online Judge | 1001

Extremamente Básico

Adaptado por Neilor Tonin, URI  Brasil

Timelimit: 1

Leia 2 valores inteiros e armazene-os nas variáveis **A** e **B**. Efetue a soma de **A** e **B** atribuindo o seu resultado na variável **X**. Imprima **X** conforme exemplo apresentado abaixo. Não apresente mensagem alguma além daquilo que está sendo especificado e não esqueça de imprimir o fim de linha após o resultado, caso contrário, você receberá "Presentation Error".

Entrada

A entrada contém 2 valores inteiros.

Saída

Imprima a mensagem "X = " (letra X maiúscula) seguido pelo valor da variável **X** e pelo final de linha. Cuide para que tenha um espaço antes e depois do sinal de igualdade, conforme o exemplo abaixo.

Exemplos de Entrada	Exemplos de Saída
10 9	X = 19
-10 4	X = -6

Fonte: Adaptada de URI [BEZ e TONIN 2014].

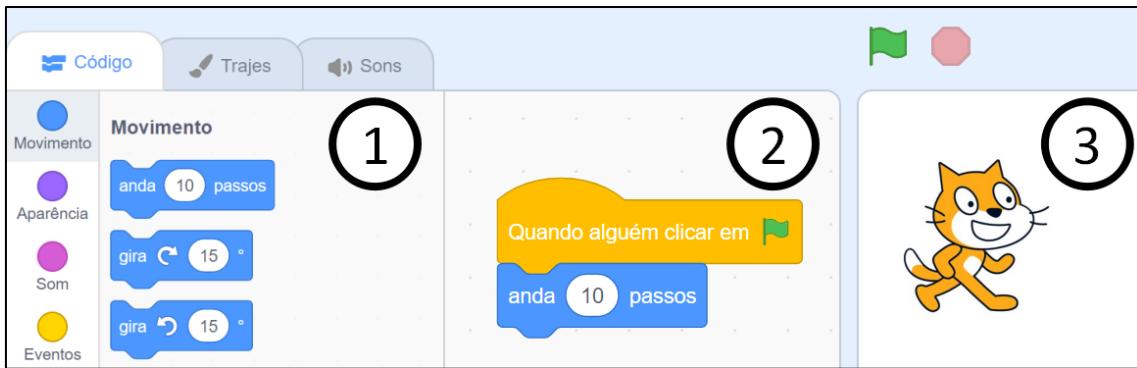
2.4 LINGUAGENS DE BLOCOS

Nas aulas iniciais de Pré-Algoritmos, linguagens de blocos são apresentadas aos alunos. Uma linguagem de bloco permite que alunos com pouco ou nenhum conhecimento com linguagens de programação resolvam problemas, pela composição de blocos visuais que podem ser traduzidos para uma linguagem de programação convencional [MIT 2019, Code.org 2019].

Uma das linguagens de blocos apresentadas foi o *Scratch*, que foi projetado para ser usado por alunos de 8 a 16 anos, mas pode ser utilizado por todas as idades [MIT 2019]. Esse ambiente é utilizado em mais de cento e cinquenta países e disponível em mais de quarenta idiomas diferentes [MIT 2019].

Na figura 2, pode ser visto um exemplo do ambiente *Scratch*.

Figura 2: Linguagem de blocos Scratch



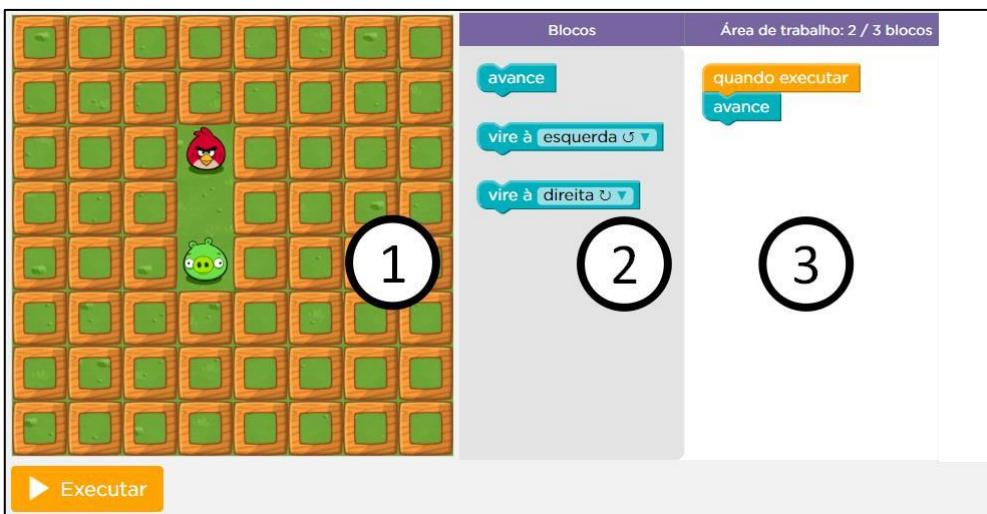
Fonte: Adaptada de Scratch [MIT, 2019]

Para solucionar um problema, o aluno pode selecionar os blocos mais apropriados (Área 1), arrastar esses blocos para compor a solução do problema (Área 2). Quando executado, o personagem realiza as ações descritas pelo programa (Área 3).

Outra linguagem de blocos apresentada aos alunos é a disponível pela organização sem fins lucrativos Code.org [Code.org 2019]. Essa organização dedica-se a expandir o acesso à Ciência da Computação em escolas e aumentar a participação das mulheres e das minorias não representadas [Code.org 2019]. A organização é apoiada por companhias, tais como Amazon, Facebook, Google e Microsoft [Code.org 2019].

Na Figura 3, pode ser visto um problema de programação no ambiente Code.org.

Figura 3: Problema no Code.org



Fonte: Modificada de Code.org [Code.org, 2019]

O problema apresenta uma descrição visual (Área 1). O aluno deve selecionar um conjunto de blocos (Área 2) e montar uma solução para o problema (Área 3).

Além dessas linguagens de bloco, o URI permite que o estudante submeta problemas usando linguagens de blocos.

3. TRABALHOS RELACIONADOS

Queiroz et al. (2018) investigaram os aspectos motivacionais no processo de ensino-aprendizado em programação em um estudo de caso com estudantes do curso de BTI da UFERSA, campus Pau dos Ferros. Eles identificaram que 60 % dos alunos apresentam dificuldades na compreensão da lógica de programação. Alguns dos fatores apontados pelos estudantes são não compreender conteúdos complexos em pouco tempo, falta de interesse por aulas teóricas e erros contínuos no código.

Por sua vez, Moreira et al. (2018) realizaram um *survey* com 110 estudantes universitários de programação introdutória na UFERSA, para identificar os principais desafios enfrentados pelos estudantes para aprender programação e os principais conteúdos que os alunos apresentam dificuldades. Como resultado, os autores identificaram que a maior dificuldade dos alunos está em desenvolver a lógica de programação. Além desta, os alunos apontaram outras dificuldades, como, por exemplo, o entendimento da sintaxe, a falta de tempo para se dedicar a disciplina e a interpretação dos problemas propostos.

No cenário internacional, Hawi (2010) investigou as principais causas que levam ao sucesso e ao fracasso os alunos de uma disciplina introdutória de programação da Universidade Notre Dame, Louaize. Foram selecionados 45 alunos de sexos distintos, sendo a maioria de sexo masculino, para eliciar as possíveis causas de insucessos. As principais causas apontadas foram habilidade, esforço, dificuldade na tarefa e sorte.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para avaliar o projeto, aplicou-se Pré-Algoritmos em dois semestres seguidos, 2018.1 e 2018.2. Para identificar a eficiência do curso, comparou-se o desempenho dos alunos que foram aprovados em Pré-Algoritmos (e também matriculados em Algoritmos) com os demais alunos que foram matriculados em Algoritmos, mas que não fizeram parte de Pré-Algoritmos ou não obtiveram frequência mínima em Pré-Algoritmos (denominados de alunos tradicionais). Para ser aprovado em Pré-

Algoritmos, adotou-se como critério de frequência mínima 50 %. Dessa forma, os alunos com 50 % ou mais de frequência foram considerados aprovados em Pré-Algoritmos.

Tabela 2: Resultados do projeto Pré-Algoritmos

Descrição	Valores
Aprovados em Pré-Algoritmos (2018.1)	22
Aprovados em Pré-Algoritmos e Algoritmos (2018.1)	16
Total de Alunos em Algoritmos (2018.1)	98
Aprovados em Algoritmos 2018.1	34
Aprovados em Pré-Algoritmos (2018.2)	20
Aprovados em Pré-Algoritmos e Algoritmos (2018.2)	16
Total de Alunos em Algoritmos (2018.2)	104
Aprovados em Algoritmos 2018.2	66
Porcentagem de Aprovados em Pré-Algoritmos e Algoritmos (2018.1)	73 %
Porcentagem de Aprovados em Pré-Algoritmos e Algoritmos (2018.2)	80 %
Porcentagem de Aprovados em Algoritmos (2018.1)	35 %
Porcentagem de Aprovados em Algoritmos (2018.2)	63 %
Porcentagem de Aprovados em Pré-Algoritmos e Algoritmos 2018.1 e 2018.2	76 %
Porcentagem de Aprovados em Algoritmos 2018.1 e 2018.2	50 %
Porcentagem de Alunos Tradicionais Aprovados em Algoritmos 2018.1 e 2018.2	36 %

Fonte: Autoria própria

Na Tabela 2, podem ser vistos os dados referentes aos dois semestres de execução do projeto para ações de apoio à melhoria do ensino de graduação. Em ambos os semestres, foram aprovados 42 alunos (22 no período 2018.1 e 20 no período 2018.2). Nos dois períodos participaram de Algoritmos em torno de 200 alunos (98 no período 2018.1 e 104 no período 2018.2). Nos dois períodos, o número de alunos que foram aprovados em Pré-Algoritmos e também em Algoritmos foi o mesmo, 16. Comparando os alunos aprovados em Pré-Algoritmos com os alunos tradicionais, percebe-se que dos alunos aprovados em Pré-Algoritmos, 76 % foram aprovados em Algoritmos, enquanto que apenas 36 % dos alunos tradicionais foram aprovados em Algoritmos.

Portanto, o projeto Pré-Algoritmos demonstrou eficiência na redução da taxa de insucessos na disciplina de Algoritmos e mostrou potencial para melhorar o desempenho dos alunos no ensino introdutório de programação, considerando o âmbito de estudo como sendo o curso de BTI da UFERSA, campus Pau dos Ferros. Não somente melhorar o desempenho, como também reduzir taxas de evasão e falta de motivação para os estudantes continuarem no referido curso de graduação do ensino superior.

4.1 AMEAÇAS À VALIDADE E LIMITAÇÕES

O trabalho apresenta ameaças com respeito à sua validade. Como ameaça à validade interna, tem-se que os alunos que participam de Pré-Algoritmos podem ter uma pré-disposição para o aprendizado de Algoritmos, em contraste com alunos que tenham mais dificuldade na disciplina. Para amenizar esta ameaça, realizou-se uma chamada pública, em que todos os alunos possuíam a mesma oportunidade de fazer parte do curso, o que pode incluir tantos alunos motivados para o aprendizado quanto alunos que apresentam dificuldades.

Como ameaça à validade externa, o curso foi aplicado apenas na UFERSA e poderia não funcionar para outras instituições. Para mitigar esta ameaça, a disciplina foi aplicada a turmas de diferentes semestres de Algoritmos, além de ministrada por diferentes membros do projeto ao longo dos semestres, usando a mesma metodologia, incluindo professores e bolsista.

5. CONCLUSÃO

O ensino de disciplinas relacionadas à programação vem se tornando um desafio para alunos ingressantes em cursos superiores na área de computação. Em especial no curso de BTI na UFERSA, campus Pau dos Ferros, vinha mantendo um alto índice de insucessos na disciplina de Algoritmos a cada semestre letivo, incluindo reprovações, evasões e desmotivações.

Para amenizar este problema, este trabalho propôs o projeto para ações de apoio à melhoria do ensino de graduação intitulado de “Pré-Algoritmos”. Este funciona como uma monitoria, mas, similar a um componente curricular tradicional, abordando conteúdos que buscam desenvolver a lógica de programação e temas já abordados no componente curricular Algoritmos.

Para avaliar o projeto para ações de apoio à melhoria do ensino de graduação,

comparou-se o desempenho dos alunos que participaram da abordagem, com o desempenho dos alunos tradicionais (alunos que não participaram de Pré-Algoritmos ou que não obtiveram frequência mínima em Pré-Algoritmos). Como resultado, identificou-se que dos alunos aprovados em Pré-Algoritmos, 76 % foram aprovados em Algoritmos. Em contraste disto, apenas 36 % dos alunos tradicionais foram aprovados em Algoritmos.

Desta forma, conclui-se que este projeto auxiliou na redução do número de insucessos na disciplina Algoritmos e possui potencial para melhorar as taxas de insucessos na disciplina de Algoritmos.

Como trabalhos futuros, pretende-se realizar um estudo para rastrear o desempenho dos alunos, em outros disciplinas que tenham como pré-requisito o componente curricular Algoritmos, tais como Algoritmos e Estrutura de Dados I e II. Adicionalmente, pretende-se avaliar uma nova abordagem para apresentar os conteúdos antes de serem abordados em Algoritmos, de forma que os estudantes possam participar de Algoritmos com algum conhecimento sobre o conteúdo ministrado. Da forma como o curso é ministrado atualmente, os conteúdos são abordados apenas depois de mostrados em Algoritmos.

REFERÊNCIAS

- [BEZ e TONIN 2014] BEZ, J. L. e TONIN, N. A. (2014). URI *online judge* e a internacionalização da universidade. Disponível em <https://scratch.mit.edu/>. Acessado em 27 de fevereiro de 2020. [Code.org 2019] Code.org (2019). Code.org. Disponível em <https://code.org/>. Acessado em 27 de fevereiro de 2020.
- [DEITEL e DEITEL 2011] DEITEL, Harvey, DEITEL, Paul. (2011). C - Como Programar. Pearson Universidades. 6 Ed.
- [Hawi 2010] Hawi, N. (2010). *Causal attributions of success and failure made by undergraduate students in an introductory-level computer programming course*. *Computers & Education*. 54(4):1127-1136.
- [MIT 2019] MIT (2019). Scratch. Disponível em <https://scratch.mit.edu/>. Acessado em 27 de fevereiro de 2020.
- [Moreira et al. 2018] Moreira, G. L., Holandal, W., da S. Coutinho, J. C., and Chagas, F. S. (2018). Desafios na aprendizagem de programação introdutória em cursos de ti da UFERSA, campus Pau dos Ferros: um estudo exploratório. In *Proceedings of the III Encontro do Oeste Potiguar, ECOP '18*, pages 90-96. ECOP.
- [Queiroz et al. 2018] Queiroz, J. V., Rodrigues, L. M., and Coutinho, J. (2018). Um relato dos fatores motivacionais na aprendizagem de programação na perspectiva de alunos iniciantes em programação da universidade federal rural do Semi-Árido campus Pau dos Ferros--RN. In *Proceedings of the III Encontro do Oeste Potiguar, ECOP '18*, pages 90-96. ECOP.
- [Santos et al. 2018] Santos, P. S. C., Araujo, L. G. J" and Bittencourt, R. A. (2018). *A mapping study of computational thinking and programming in brazilian k-12 education*. In 2018 IEEE *Frontiers in Education Conference (FIE)*, pages 1-8.
- [VisualG 2019] VisualG (2019). VisualG 3. Disponível em <http://visualg3.com.br/>. Acessado em 27 de fevereiro de 2020.

CAPÍTULO 08

IMPRESSÃO 3D: FERRAMENTA DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA PARA ELABORAÇÃO DE METODOLOGIAS E KITS DIDÁTICOS RELACIONADOS À EDUCAÇÃO.

Gustavo Felipe Pavan

Aluno do curso de Engenharia de C. e A.

Instituição: IFSC/Campus Chapecó

E-mail: gustavopavan51@gmail.com

Eduardo Luiz Todero

Aluno do curso de Engenharia de C. e A.

Instituição: IFSC/Campus Chapecó

E-mail: eduardoluiztodero1@gmail.com

Ana Júlia Barros Delfim

Aluno do curso de Engenharia de C. e A.

Instituição: IFSC/Campus Chapecó

E-mail: a.juliabarros@gmail.com

Guilherme Eduardo Tomé

Aluno do curso de Engenharia de C. e A.

Instituição: IFSC/Campus Chapecó

E-mail: guilherme.edu2008@gmail.com

Robinson Joel Ten-caten

Aluno do curso de Engenharia de C. e A.

Instituição: IFSC/Campus Chapecó

E-mail: robinson.ten.caten@gmail.com

Samuel Henrique Franz

Aluno do curso de Engenharia de C. e A.

Instituição: IFSC/Campus Chapecó

E-mail: samuhfranz@hotmail.com

Arthur Fuzinatto

Aluno do curso de Engenharia de C. e A.

Instituição: IFSC/Campus Chapecó

E-mail: arthur.hf@hotmail.com

Ênio dos Santos Silva

Professor do curso de Engenharia

Instituição: IFSC/Campus Chapecó

E-mail: enio.silva@ifsc.edu.br

Gustavo Cunha Guedes

Professor do curso de Engenharia

Instituição: IFSC/Campus Chapecó

E-mail: gustavo.guedes@ifsc.edu.br

Almir dos Santos Albuquerque

Aluno do curso de Doutorado do Programa de Pós Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento (PPEGC)

Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

E-mail: asaalbuquerque@gmail.com

Rogério Cid Bastos

Professor do Departamento de Engenharia e Gestão do Conhecimento (EGC)

Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

E-mail: rogerio.bastos@ufsc.br

RESUMO: Nos últimos anos, a utilização de impressoras 3D vem ganhando um grande destaque nos meios corporativos e acadêmicos. Atualmente, cada vez mais, a tecnologia de impressão 3D está se aproximando do consumidor final residencial. Entretanto, o alto custo necessário para a aquisição desse equipamento retarda, ou até mesmo impede, uma difusão maior nos meios acadêmicos e em comunidades de baixa renda. Visando contornar essa dificuldade, este projeto propõe o desenvolvimento e a construção de impressoras 3D de baixo custo. Especificamente, a estratégia aqui adotada utiliza componentes de baixo custo e materiais reutilizados de sucata, resultando em um preço final de aproximadamente, apenas, 30% em relação às impressoras 3D convencionais disponíveis atualmente no mercado. Adicionalmente, este projeto aborda a confecção de protótipos educacionais, kits didáticos e multidisciplinares, utilizando a tecnologia de impressão 3D. Dessa maneira, espera-se que a partir dessa estratégia de prototipagem rápida, os alunos de diversos níveis escolares, internos e externos ao IFSC, sejam beneficiados pelo acesso à novas tecnologias que os auxiliem no processo ensino-aprendizagem.

PALAVRAS-CHAVE: Fabricação Digital, Impressora 3D, Prototipagem Rápida.

ABSTRACT: In recent years, the use of 3D printers has gained a great prominence in the corporate and academic circles. Today, more and more, 3D printing technology is approaching the end consumer. However, the high cost required to purchase this equipment delays, or even prevents, a greater diffusion in academic circles and in low-income communities. In order to overcome this difficulty, this project proposes the development and construction of low-cost 3D printers. Specifically, the strategy adopted here uses low-cost components and reused scrap materials, resulting in a final price of approximately only 30% compared to conventional 3D printers currently available on the market. Additionally, this project addresses the making of educational prototypes, didactic and multidisciplinary kits, using 3D printing technology. Thus, it is expected that from this rapid prototyping strategy, students of different school levels, internal and external to IFSC, will benefit from access to new technologies that assist them in the teaching-learning process.

KEYWORDS: Digital Fabrication, 3D Printer, Rapid Prototyping.

1. INTRODUÇÃO

Segundo o estado da arte em fabricação digital, estamos às vésperas de uma terceira revolução industrial, na qual as pessoas serão o centro da mudança. Nesse cenário, a indústria atual e a produção em larga escala passam a conviver com a fabricação, em pequena escala, de objetos criados pelos próprios consumidores. Essa é a revolução anunciada pelas impressoras 3D, que nos últimos anos vêm ganhando fama, espaço e um grande destaque nos meios corporativos e acadêmicos (ANDERSON, 2012). No entanto, o alto custo necessário para a aquisição desse equipamento retarda ou, até mesmo, impede sua maior difusão nos meios acadêmicos e em comunidades de baixa renda.

Visando contornar a dificuldade supracitada, este projeto propõe o desenvolvimento e a construção de impressora 3D de baixo custo pela comunidade do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) no Campus de Chapecó. Essa estratégia surge como uma alternativa interessante para o modelo atual de fabricação industrial e apresenta vantagens para a sociedade em geral, favorecendo o desenvolvimento do conhecimento de forma rápida, por meio do compartilhamento de ideias. Nesse contexto, a elaboração de projetos tecnológicos junto à comunidade em geral é fomentada, tornando possível a criação e a disponibilização de laboratórios de fabricação digital que permitirão que os educandos, principalmente alunos em vulnerabilidade social, se engajem em atividades intelectuais e práticas que dificilmente seriam possíveis em outro lugar, além de experimentarem novas formas de trabalho e colaboração em grupo.

Especificamente, a construção da impressora 3D aqui proposta utiliza componentes de baixo custo e materiais reutilizados de sucata. Dessa forma, o orçamento envolvido na construção da impressora proposta é de aproximadamente, apenas, 30 % (trinta por cento) em relação às impressoras 3D convencionais disponíveis atualmente no mercado. Espera-se que a partir da estratégia de prototipagem rápida, os alunos de diversos níveis escolares, internos e externos ao IFSC, sejam beneficiados em diferentes projetos e disciplinas.

2. METODOLOGIA

As estratégias aqui assumidas objetivam que os educandos internos e externos do IFSC sejam beneficiados através de oficinas educativas envolvendo tanto o

processo de confecção de peças quanto a materialização de protótipos e ou modelos que antes eram vistos e explicados apenas através de slides ou de ilustrações no quadro, como, por exemplo, no aprendizado de conceitos fundamentais de estruturas moleculares, sequências de DNA, ou até mesmo no aprendizado de projetos mais complexos como a construção de estruturas robóticas.

Dessa forma, a introdução da tecnologia de prototipagem rápida usando impressoras 3D, também proporciona aos professores a opção da confecção de modelos específicos para as suas correspondentes disciplinas, fortalecendo a composição de um currículo integrado e interdisciplinar.

O presente projeto foi dividido em quatro diferentes macro etapas descritas como segue:

1. Etapa de Pesquisa, Treinamento e Capacitação;
2. Etapa de Desenvolvimento e Construção da Impressora 3D;
3. Etapa de Apresentação e Divulgação da Impressora 3D;
4. Etapa de Realização de Oficinas para as comunidades interna e externa.

Na Etapa 1, foram realizadas revisões bibliográficas e pesquisas sobre o estado da arte em prototipagem digital, bem como sobre a fabricação de impressoras 3D de baixo custo e sua utilização na educação. Nesta etapa, também foram realizadas visitas técnicas, às instituições parceiras, para troca de experiências e conhecimentos, auxiliando no processo de treinamento e capacitação. Particularmente, os parceiros deste projeto de extensão, nesta etapa, foram o Grupo de Robótica da Universidade do Oeste de Santa Catarina – UNOESC; do laboratório “pronto 3D”, vinculado à Universidade Comunitária Regional de Chapecó – UNOCHAPECÓ e, do Programa de Pós Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento (PPEGC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Nesses laboratórios, algumas peças e kits didáticos projetados foram inicialmente impressos e utilizados como protótipos de aplicações na educação dos alunos internos e externos do IFSC. Particularmente, o laboratório “Pronto 3D” surgiu como uma alternativa interessante de parceria com o IFSC do Campus de Chapecó, disponibilizando sua infraestrutura para a confecção de peças com um custo bastante reduzido, tornando possível a construção e desenvolvimento de uma impressora 3D própria do IFSC Campus de Chapecó.

Na Etapa 2, foram realizados os contatos, consultas e visitas às empresas locais que disponibilizaram materiais de sucata (como estruturas metálicas e/ou de madeira, parafusos e porcas, motores de impressoras descartadas, dentre outros).

Após a obtenção dos materiais de sucata, foram realizados orçamentos para a obtenção dos outros componentes (como os controladores eletrônicos, o bico injetor, dentre outros), assim como a confecção de componentes pela própria equipe, utilizando a estrutura do IFSC Campus de Chapecó. Ainda na Etapa 2, foi realizada a fabricação e montagem da impressora 3D, utilizando os componentes supracitados e tutoriais de licença aberta disponíveis na Internet. Toda a fabricação foi realizada dentro das dependências do IFSC Campus de Chapecó, através das ferramentas disponíveis nos laboratórios do Curso Superior em Engenharia de Controle e Automação, e nos laboratórios dos Cursos Técnicos de Mecânica e Eletroeletrônica.

Especificamente, neste projeto de extensão, para a Impressora 3D adotou-se o modelo “SmartrapCore/SmartFriendz” (SMARTFRIENDZ/SMARTCORE, 2010), por utilizar componentes facilmente encontrados em impressoras matriciais antigas descartadas como sucatas.

Na Etapa 3, foram realizados eventos de divulgação da tecnologia de impressão 3D. Tais eventos tiveram como público alvo a comunidade acadêmica do IFSC e também a comunidade externa de modo geral. Nesse contexto, serão ofertadas oficinas para a confecção de peças e modelos usando impressoras 3D a fim de transcender os exemplos didáticos expressos apenas nos quadros ou papéis, concretizando, via impressão 3D, tais exemplos didáticos e transformando-os em kits práticos de aprendizagem.

Finalmente, na Etapa 4 a Impressora 3D desenvolvida neste projeto de extensão foi utilizada através de laboratórios e oficinas ofertadas para as comunidades interna e externa ao IFSC. Dessa maneira, diversas peças e materiais educativos foram projetados, impressos e disponibilizados para a educação de alunos de diferentes níveis escolares. Especificamente, os meterias confeccionados a partir da impressora 3D, foram utilizados durante as aulas dos cursos médio, técnico e de engenharia de controle e automação do IFSC Campus de Chapecó.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A possibilidade da construção física de protótipos, isto é, de exemplos que fossem “palpáveis”, facilitou o processo de compreensão até mesmo em disciplinas mais complexas. Dessa forma, a estratégia proposta facilitou o processo de aprendizado dos educandos e abrangeu uma quantidade considerável de disciplinas. Além disso, nas oficinas que foram ofertadas neste projeto de extensão, os educandos

tiveram a oportunidade de ter acesso à novas tecnologias e a introdução de temas como robótica e programação lógica.

Especificamente, este projeto tornou possível a elaboração de kits didáticos multidisciplinares confeccionados através de impressoras 3D. Espera-se que a partir de uma estratégia de prototipagem rápida, os alunos de diversas séries escolares, internos e externos do IFSC, sejam beneficiados em diferentes disciplinas. A introdução da tecnologia de prototipagem rápida usando impressoras 3D, também tem como objetivo proporcionar aos professores a opção da confecção de modelos específicos para as suas correspondentes disciplinas, fortalecendo a composição de um currículo integrado e interdisciplinar.

Na literatura, artigos relacionados à educação reportam que o processo de aprendizagem é facilitado quando há a realização de experimentos concretos e/ou a visualização de exemplos relacionados às disciplinas. Particularmente, pode-se definir que uma das funções do educador é estimular seus educandos a expressar-se por meio de múltiplas linguagens, criando novas alternativas às escolas apenas textuais e numéricas. Dessa forma, cabe ao educador fazer uso de materiais que ajudem a materializar abordagens, temas e conteúdos com os quais se está trabalhando ou pretende trabalhar. Isso pode ser feito por meio de materiais didáticos concretos, seja para explorar conteúdos disciplinares isoladamente ou para trabalhar temas e conteúdos interdisciplinarmente (SILVA, et al., 2010). Nesse contexto, a tecnologia de impressão 3D surge como uma alternativa interessante para o processo de prototipagem rápida de materiais didáticos.

Adicionalmente, com este projeto de extensão, espera-se que a comunidade externa seja beneficiada através do fácil acesso à novas tecnologias que também possibilitará a rápida construção de protótipos e de maquetes que auxiliem em processos e metodologias de aprendizado nos ensinos básico e fundamental, assim como a participação em oficinas educativas que visam a introdução de temas tecnológicos para crianças e adolescentes de comunidades de baixa renda em vulnerabilidade social.

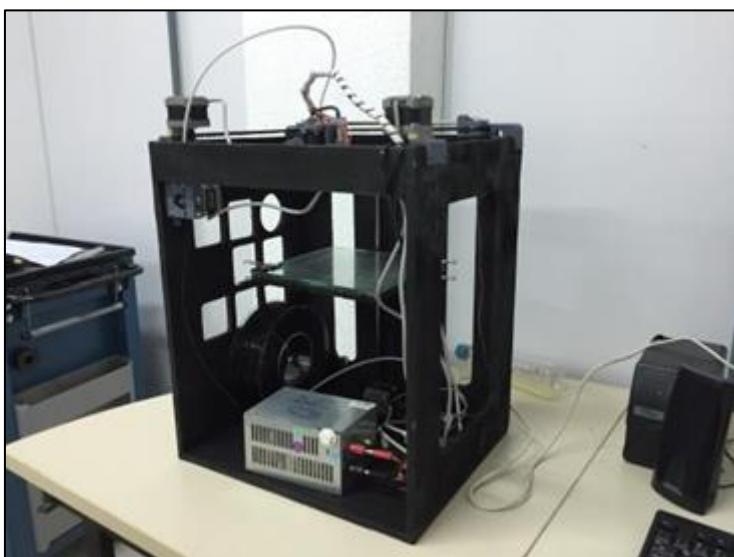
As Figuras 1 e 2 apresentam as etapas de desenvolvimento da impressora. Já na Figura 3, a utilização da impressora, aqui desenvolvida, é apresentada.

Figura 1: Etapa de desenvolvimento da impressora



Fonte: Os autores

Figura 2: Etapa de desenvolvimento da impressora



Fonte: Os autores

Figura 3: Utilização da impressora



Fonte: Os autores

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho, também vale ressaltar a importância da multidisciplinaridade e os impactos sociais do projeto proposto, no qual, a partir da disponibilização de uma impressora 3D para a comunidade em geral, torna-se possível atender uma vasta gama de necessidades encontradas na sociedade, como por exemplo:

- A necessidade da inclusão de crianças carentes nos temas tecnológicos. Nesse contexto, a impressora 3D promove a confecção rápida e barata de materiais educativos;
- A necessidade da mínima utilização possível de materiais não degradáveis, como o plástico (que geralmente é a matéria prima utilizada nas impressoras 3D). No momento em que o tema da sustentabilidade é um dos mais importantes, a impressora 3D conscientiza os usuários para o uso ecologicamente sustentável do plástico, pois, devido a sua alta precisão, a impressora 3D utiliza apenas a quantidade de material necessária para a confecção dos projetos desejados, oferecendo ainda a possibilidade de reciclagem de material;
- A possibilidade de confecção a baixo custo de próteses (como braços mecânicos, pernas, etc.) para pessoas de baixa renda portadoras de necessidades especiais, além da criação de protótipos para análise e testes de projetos em pequena escala, estimulando a criatividade e possibilitando a continuidade de projetos que seriam inviáveis se utilizados os meios tradicionais de prototipagem industrial.

Também foi possível evidenciar as abordagens relacionadas com o ensino,

pesquisa e extensão. Tais abordagem são descritas a seguir:

1. Na pesquisa: obtenção de conhecimento, por parte da equipe, das tecnologias e metodologias envolvidas na fabricação de impressoras 3D. Especificamente, os educando envolvidos despertaram para os assuntos envolvendo otimização de custos, compreensão e conhecimento de todo o mecanismo da impressora e de seus sistemas de controle e automação, do processo de construção e montagem, além do estímulo à criatividade, encorajando, os integrantes da equipe, à busca por novas tecnologias e alternativas para o desenvolvimento e construção de mecanismos, incentivando, dessa forma, a pró-atividade, a curiosidade científica e o espírito empreendedor;
2. Na extensão: oferta de minicursos, palestras, oficinas, dentre outras formas de ensino, tanto para a comunidade acadêmica quanto para o público externo, incentivando assim a curiosidade e o interesse pelo tema. Aqui, uma atenção especial é dada às crianças e adolescentes em vulnerabilidade social, assim como para pessoas portadoras de necessidades especiais, como por exemplo, deficientes visuais. Dessa forma, os conhecimentos adquiridos neste projeto migram da teoria para aplicações práticas;
3. No ensino: fortalecimento dos cursos do IFSC - Chapecó (médio, técnicos, superior e EJA), tanto em termos estruturais como intelectuais, através da oferta do uso da Impressora 3D para a fabricação de kits didáticos para as disciplinas ministradas nesses cursos. Por exemplo: fabricação rápida de maquetes para as disciplinas de Geografia e História; confecção de modelos moleculares 3D para a disciplina de Química; cadeias de DNA para Biologia; dentre outras inúmeras aplicações possíveis.

Portanto, a introdução de uma prototipagem rápida e a construção de impressoras 3D, promoveu a fomentação e a curiosidade científica em diversas áreas, possibilitando e incentivando uma metodologia de ensino mais dinâmica através de um processo de fabricação rápida, e de fácil acesso, de componentes didáticos que podem ser utilizados em diversas unidades curriculares tanto da engenharia quanto dos ensinos médios, técnicos, de EJA e na comunidade externa em geral.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, Chris. Makers - a Nova Revolução Industrial. ed. Nova Books, 2012.
- FONSECA, J. A.; MEURER, E. J. Inibição da absorção de magnésio pelo potássio em plântulas de milho em solução nutritiva. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 21, 47-50, 1997.
- JACKSON, M. L. Chemical composition of soil. In: BEAR, F. E., ed. Chemistry of the soil. 2.ed. New York: Reinhold, 1964. p.71-141.
- KONHNKE, H. Soil physics. 2.ed. New York: MacGraw Hill, 1969.
- MENDES, G. El Niño and La Niña. Disponível em: <<http://www.stormfax.com/elnino.htm>>. Acesso em 8 de agosto de 2017.
- SILVA, M. L. N.; FREITAS, P. L.; BLANCANEAUX, P. et al. Índice de erosividade de chuva da região de Goiânia (GO). In: 15º Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 1996. Anais. Águas de Lindóia: Embrapa, 1996. CD-ROM.
- SILVA, A; SANTOS, T.; ADRIANO, L.; TIAGO, C. G. S, “Produção de Materiais Didáticos para a Educação Profissional e Tecnológica”, Revista Técnico Científica do IFSC, 2010.
- SMARTFRIENDZ/SMARTCORE. <<https://github.com/smartfriendz/smartcore>>. Acessado em 8 de agosto de 2017.
- VETTORI, L. Ferro “livre” por cálculo. In: 15º Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Campinas, 1975. Anais. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1976. p.127-128.

CAPÍTULO 09

MODELAMENTO NÃO LINEAR DE DOIS ELOS DE UM ROBÔ DE TRÊS GRAUS DE LIBERDADE.

José Antonio Riul

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba

Instituição: Universidade Federal da Paraíba

Endereço: Cidade Universitária, Conjunto Castelo Branco, João Pessoa – PB, Brasil

E-mail: riul@ct.ufpb.br

Paulo Henrique Montenegro

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba

Instituição: Universidade Federal da Paraíba

Endereço: Cidade Universitária, Conjunto Castelo Branco, João Pessoa – PB, Brasil

E-mail: paulo@ct.ufpb.br

Naor Moraes Melo

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba

Instituição: Universidade Federal da Paraíba

Endereço: Cidade Universitária, Conjunto Castelo Branco, João Pessoa – PB, Brasil

E-mail: naor@ct.ufpb.br

RESUMO: O objetivo do presente trabalho é o modelamento não linear de dois elos de um robô manipulador de três graus de liberdade (3 GDL). O robô manipulador é composto por duas juntas rotacionais e uma prismática. Neste trabalho, modelos considerando não linearidades de saída, conhecidos como modelos caixa preta, serão obtidos usando dados coletados dos elos 1 e 3 do robô e considerando o acoplamento dinâmico entre os elos. Neste trabalho foram obtidos 3 modelos para cada elo do robô; e os modelos de números 1.1 e 1.3 foram escolhidos como os melhores, com base nos índices de desempenho obtidos e na quantidade de parâmetros de ambos. Finalizando, as Figuras 4 e 5 mostram as respostas obtidas usando- se os modelos escolhidos.

PALAVRAS-CHAVE: Robótica, Sistemas não lineares, Identificação.

ABSTRACT: The objective of the present work is the nonlinear modeling of two links of a three degree of freedom manipulator robot (3 GDL). The manipulator robot is composed of two rotational joints and one prismatic. In this work models considering nonlinearity outputs, known as black box models, will be obtained using data collected from links 1 and 3 of the robot and considering the dynamic coupling between links. In this work 3 models were obtained for each robot link; and the models of numbers 1.1 and 1.3 were chosen as the best, based on the performance indices obtained and the number of parameters of both. Finally, Figures 4 and 5 show the answers obtained using the chosen models.

KEYWORDS: Robotics, Nonlinear system, Identification.

1. INTRODUÇÃO

O objetivo do presente trabalho é o modelamento não linear de dois elos de um robô manipulador de três graus de liberdade (3 GDL). O robô manipulador é composto por duas juntas rotacionais e uma prismática. Um moto-redutor com inversor de frequência e duas válvulas eletropneumáticas são utilizados para o acionamento do robô. Existem regimes dinâmicos que não podem ser representados por modelos lineares; nesses casos o uso de modelos não lineares é indispensável. Modelos de robôs, conhecidos como modelos caixa branca (Craig, 1989; Spong e Vidyasagar, 1989), que são acoplados e não lineares podem ser obtidos usando equações de Newton-Euler ou Lagrange. Neste trabalho modelos não lineares (Riul e Montenegro, 2015; Riul et al., 2016), conhecidos como modelos caixa preta, serão obtidos usando dados coletados dos elos 1 e 3 do robô e considerando o acoplamento dinâmico entre eles. Nos modelos a serem obtidos serão consideradas não linearidades de saída, sendo considerados lineares os parâmetros do robô. Um modelo paramétrico descrito por uma equação a diferença, com não linearidade de saída é usado para solução de equações diferenciais não lineares. Finalizando serão apresentados resultados obtidos através dos modelos gerados.

2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

Robô Manipulador de 3 GDL mostrado na Fig. 1 é composto de duas juntas rotacionais e uma prismática. A junta 1 rotacional é acionada por um moto-redutor alimentado por um inversor de frequência e movimenta o elo 1 do robô. Este elo é uma coluna cilíndrica e tem um deslocamento angular máximo de 160° , medido através de um potenciômetro. O movimento da junta 1 é transmitido para o elo 1 através de duas polias e uma correia dentada. A junta 2 rotacional é acionada por um sistema eletropneumático composto por uma válvula eletropneumática e um cilindro pneumático e movimenta o elo 2 do robô. Este elo é um perfil U e tem um deslocamento angular máximo de 45° , medido através de um potenciômetro.

Figura 1: Robô Manipulador de 3 GDL.



Fonte: Os autores.

O movimento da junta 2 é transmitido para o elo 2 através do deslocamento do pistão do cilindro pneumático. A junta 3 prismática é acionada por uma válvula eletropneumática e movimenta o elo 3 do robô que é a haste de um pistão de 500 mm de curso, de um cilindro pneumático fixado no interior do perfil U (elo 2). O deslocamento linear da haste do pistão é medido através de uma régua potenciométrica. Um computador PC é utilizado para enviar comandos de acionamento ao moto-redutor através do inversor de frequência e para as duas válvulas eletropneumáticas e para receber os sinais dos sensores potenciométricos.

A comunicação do robô com o computador é realizada através de duas placas de entrada e saída de dados NI USB-6009, utilizando um programa computacional nas plataformas LabView e Matlab. Considerando as características de tensão e capacidade máxima de corrente das placas de entrada e saída de dados foi inserido um amplificador de potência para servir como fonte de suprimento aos elementos de acionamento do robô manipulador.

3. IDENTIFICAÇÃO NÃO LINEAR DO ROBÔ

A identificação de sistemas é uma área do conhecimento que estuda técnicas alternativas de modelagem matemática (Aström e Wittenmark, 1995; Rúbio e Sanchez, 1996; Coelho e Coelho, 2004). Uma das características dessas técnicas é que pouco ou nenhum conhecimento prévio do sistema é necessário e, consequentemente, tais métodos são referidos como modelagem (ou identificação) caixa preta ou modelagem empírica (Aguirre, 2000).

Modelos matemáticos não lineares de sistemas, podem ser obtidos utilizando-se a série de Volterra (Isermann et al., 1992). O modelo paramétrico Eq. (1) é apropriado para estimativa de parâmetros tendo como base os sinais de entrada e de saída de um sistema SISO, com não linearidade na saída.

$$\begin{aligned}
 v(k) = & - \sum_{i=1}^m a_i v(k-i) - \sum_{\beta=0}^h \sum_{i=1}^m a_{2\beta i} v(k-i) v(k-i-\beta) - \dots \\
 & \sum_{\beta_1=0}^h \sum_{\beta_2=\beta_1}^h \dots \sum_{\beta_{p-1}=\beta_{p-2}}^h \sum_{i=1}^m a_{p\beta_1 \dots \beta_{p-1} i} v(k-i) \prod_{\xi=1}^{p-1} v(k-i-\beta_\xi) + \sum_{i=1}^m b_i u(k-d-i) + c_{ss}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Onde:

m – ordem do modelo do sistema;

d – atraso de transporte;

p – grau de não linearidade do modelo do sistema;

h – horizonte;

c_{ss} – nível DC

Desenvolvendo a Eq. (1), com $c_{ss} = 0$, de grau de não linearidade na saída, com os parâmetros da Tabela 1, chega-se aos modelos mostrados nas Eqs. (2), (3) e (4).

Tabela 1: Parâmetros para grau de não linearidade de saída

modelo	p	m	d	h
1	2	1	0	1
2	2	2	0	1
3	3	1	0	1

Fonte: Os autores.

$$v(k) = [-a_1 \ -a_{201} \ -a_{211} \ b_1] \begin{bmatrix} v(k-1) \\ v^2(k-1) \\ v(k-1)v(k-2) \\ u(k-1) \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$v(k) = [-a_1 \ -a_2 \ -a_{201} \ -a_{211} \ -a_{202} \ -a_{212} \ b_1 \ b_2] \begin{bmatrix} v(k-1) \\ v(k-2) \\ v^2(k-1) \\ v(k-1)v(k-2) \\ v^2(k-2) \\ v(k-2)v(k-3) \\ u(k-1) \\ u(k-2) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$v(k) = [-a_1 \ -a_{201} \ -a_{211} \ -a_{3001} \ -a_{3011} \ -a_{3111} \ b_1] \begin{bmatrix} v(k-1) \\ v^2(k-1) \\ v(k-1)v(k-2) \\ v^3(k-1) \\ v^2(k-1)v(k-2) \\ v(k-1)v^2(k-2) \\ u(k-1) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Para análise nos dois elos do robô manipulador, e considerando o acoplamento dinâmico entre eles, as Eqs. (2), (3) e (4) são reescritas conforme a Eq. (5), por se tratar o robô de um sistema MIMO, onde dois graus de liberdade serão modelados, com excitações nos elos 1 e 3; $u_1(k)$ e $u_3(k)$ e respostas; $\theta_1(k)$ e $r_3(k)$

$$[\nu(k)] = [\psi(k)] [\varphi(k)] \quad (5)$$

Onde:

$[\nu(k)]$ – vetor de saída;

$[\psi(k)]$ – matriz de parâmetros;

$[\varphi(k)]$ – vetor de medidas.

Na Equação (5), o vetor de medidas é utilizado para obtenção das saídas $\theta_1(k)$ e $r_3(k)$. Usando a Eq. (5), para os modelos dados pelas Eqs. (2), (3) e (4), omitindo-se o tempo discreto k dos parâmetros a_i e b_j e renomeando os parâmetros dos modelos do robô, tem-se os modelos de dois graus de liberdade:

-Modelo 1M

$$[\varphi^T(k)] = [\theta_1(k-1) \ \theta_1^2(k-1) \ \theta_1(k-1)\theta_1(k-2) \ r_3(k-1) \ r_3^2(k-1) \ r_3(k-1)r_3(k-2) \ u_1(k-1) \ u_3(k-1)] \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} \psi_1(k) \\ \psi_3(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_1 & -a_2 & -a_3 & -a_4 & -a_5 & -a_6 & b_1 & b_2 \\ -a_7 & -a_8 & -a_9 & -a_{10} & -a_{11} & -a_{12} & b_2 & b_3 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$[\nu(k)] = \begin{bmatrix} \theta_1(k) \\ r_3(k) \end{bmatrix} \quad (8)$$

Onde:

$\psi_1(k)$ – parâmetros dos elos 1 e 3 do robô;

$\varphi_1(k)$ – vetor de medidas dos elos 1 e 3 do robô;

$\nu_1(k)$ – saídas dos elos 1 e 3 do robô;

$i = 1$ e 3 .

-Modelo 2M

$$[\varphi^T(k)] = [\theta_1(k-1) \ \theta_1(k-2) \ \theta_1^2(k-1) \ \theta_1(k-1)\theta_1(k-2) \ \theta_1^2(k-2) \ \theta_1(k-2)\theta_1(k-3) \ r_3(k-1) \ r_3(k-2) \ r_3^2(k-1) \ r_3(k-1)r_3(k-2) \ r_3^2(k-2) \ r_3(k-2)r_3(k-3) \ u_1(k-1) \ u_1(k-2) \ u_3(k-1) \ u_3(k-2)] \quad (9)$$

$$\begin{bmatrix} \psi_1(k) \\ \psi_3(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_1 & -a_2 & -a_3 & -a_4 & -a_5 & -a_6 & -a_7 & -a_8 & -a_9 & -a_{10} & -a_{11} & -a_{12} & b_1 & b_2 & b_3 & b_4 \\ -a_{13} & -a_{14} & -a_{15} & -a_{16} & -a_{17} & -a_{18} & -a_{19} & -a_{20} & -a_{21} & -a_{22} & -a_{23} & -a_{24} & b_5 & b_6 & b_7 & b_8 \end{bmatrix} \quad (10)$$

-Modelo 3M

$$[\varphi^T(k)] = [\theta_1(k-1) \ \theta_1^2(k-1) \ \theta_1(k-1)\theta_1(k-2) \ \theta_1^3(k-1) \ \theta_1^2(k-1)\theta_1(k-2) \ \theta_1(k-1)\theta_1^2(k-2) \ r_3(k-1) \ r_3^2(k-1) \ r_3(k-1)r_3(k-2) \ r_3^3(k-1) \ r_3^2(k-1)r_3(k-2) \ r_3(k-1)r_3^2(k-2) \ u_1(k-1) \ u_3(k-1)] \quad (11)$$

$$\begin{bmatrix} \psi_1(k) \\ \psi_3(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_1 & -a_2 & -a_3 & -a_4 & -a_5 & \dots & -a_{11} & -a_{12} & b_1 & b_2 \\ -a_{13} & -a_{14} & -a_{15} & -a_{16} & -a_{17} & \dots & -a_{23} & -a_{24} & b_3 & b_4 \end{bmatrix} \quad (12)$$

A estimação dos parâmetros dos modelos não lineares dos elos do robô manipulador sob análise, descritos anteriormente, é realizada através do algoritmo dos Mínimos Quadrados Recursivo (MQR), dado pelas Eqs. (13), (14), (15) e (16) (Aguirre, 2000; Coelho e Coelho, 2004).

$$\varepsilon(k+1) = y(k+1) - \varphi^T(k+1)\psi(k) \quad (13)$$

$$K(k+1) = \frac{p(k)\varphi(k+1)}{\lambda + \varphi^T(k+1)p(k)\varphi(k+1)} \quad (14)$$

$$\psi(k+1) = \psi(k) + K(k+1)\varepsilon(k+1) \quad (15)$$

$$p(k+1) = \frac{1}{\lambda} \left\{ p(k) - \frac{p(k)\varphi(k+1)\varphi^T(k+1)p(k)}{\lambda + \varphi^T(k+1)p(k)\varphi(k+1)} \right\} \quad (16)$$

A qualidade dos modelos estimados pode ser verificada utilizando diversas técnicas; entre elas, pode-se investigar a magnitude de certos índices de desempenho. Os modelos determinados neste artigo serão avaliados através do

somatório do erro quadrático (SEQ), dado pela Eq. (17) e do coeficiente de correlação múltipla (R^2), dado pela Eq. (18) (Coelho e Coelho, 2004).

$$SEQ_i = \sum_{k=1}^N [v_i(k) - \hat{v}_i(k)]^2 \quad (17)$$

$$R_i^2 = 1 - \frac{\sum_{k=1}^N [v_i(k) - \hat{v}_i(k)]^2}{\sum_{k=1}^N [v_i(k) - \bar{v}_i]^2} \quad (18)$$

Onde:

$\hat{v}_i(k)$ e $v_i(k)$ = saída estimada do elo i e média da saída real do elo i ;

i = elos 1 e 3 do robô;

$\varepsilon_i(k+1) = v_i(k) - \hat{v}_i(k)$ = erro de previsão do elo i .

Quando o valor do coeficiente de correlação múltipla R^2 é igual a unidade indica uma exata adequação do modelo para os dados medidos do sistema e para R^2 entre 0,9 e 1,0; o modelo pode ser considerado suficiente para muitas aplicações práticas. Valor mais baixo do somatório do erro quadrático, SEQ, para o conjunto de dados de teste indica o melhor modelo.

Os modelos matemáticos não lineares dos elos do robô manipulador em estudo são obtidos através da identificação paramétrica. Os dados que compõem o vetor de medidas, são as excitações enviadas do computador para as juntas 1 e 3 do robô; $u_1(k)$, $u_3(k)$ e as respostas obtidas que são as posições angular e linear dos elos 1 e 3; $v_1(k) = \theta_1(k)$, $v_3(k) = r_3(k)$. Com a solução da Eq. (15), obtêm-se os parâmetros estimados $\psi_i(k)$ de cada um dos modelos 1M, 2M, 3M dos elos 1 e 3 do robô manipulador; e com a solução da Eq. (5), as saídas estimadas $v_1(k) = \theta_1(k)$ e $v_3(k) = r_3(k)$ são obtidas.

4. RESULTADOS

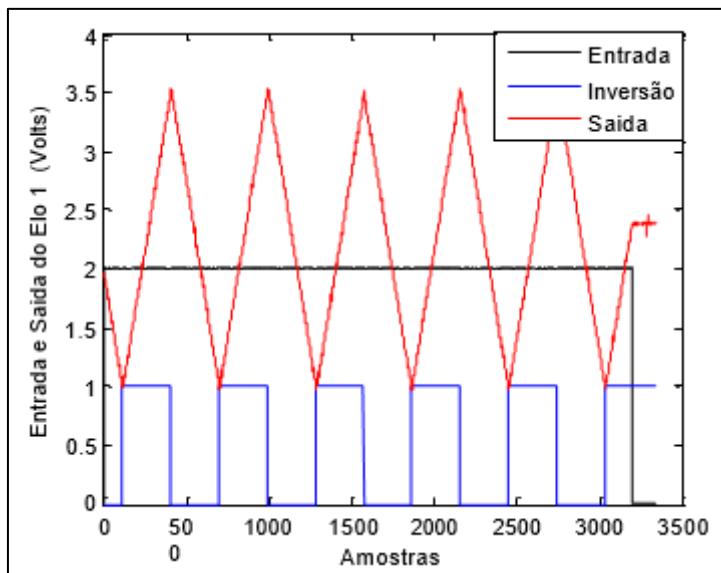
Os resultados dos desempenhos dos modelos obtidos são apresentados na Tab. 2; onde estão os índices de desempenho obtidos para os dois elos do robô, e o número de parâmetros de cada modelo. Observa-se que o coeficiente de correlação múltipla produziu valores quase idênticos para os três modelos em cada um dos elos, o SEQ mostrou comportamentos semelhantes para o elo 1 nos três modelos já no elo 2 maiores diferenças foram encontradas. Os modelos 1.1 e 1.3 foram escolhidos como os melhores diante dos coeficientes de desempenho obtidos e de serem os modelos com menores números de parâmetros. São os modelos que se apresentam vantajosos por serem mais simples do ponto de vista do esforço de processamento computacional, nas aplicações de controladores adaptativos em tempo real. A Figura 2 mostra os sinais reais de entrada e saída do elo 1 do robô manipulador, e como o motor utilizado era de corrente alternada, a inversão do sentido de rotação do elo 1 era obtida através do sinal inversão. A Figura 3 mostra os sinais reais de entrada e saída do elo 3. As Figura 4 e 5 mostram as saídas reais e estimadas dos elos 1 e 3 do robô; sendo as saídas estimadas obtidas utilizando-se os modelos 1.1 e 1.3.

Tabela 2: Índices de Desempenho dos Modelos

Modelo	Elo	p	m	Correlação Múltipla	SEQ	Nº de Parâmetros
1.1	1	2	1	0,997	4,42	8
1.3	3	2	1	0,997	45,55	8
2.1	1	2	2	0,997	4,38	16
2.3	3	2	2	0,998	36,4	16
3.1	1	3	1	0,997	4,46	14
3.3	3	3	1	0,998	30,26	14

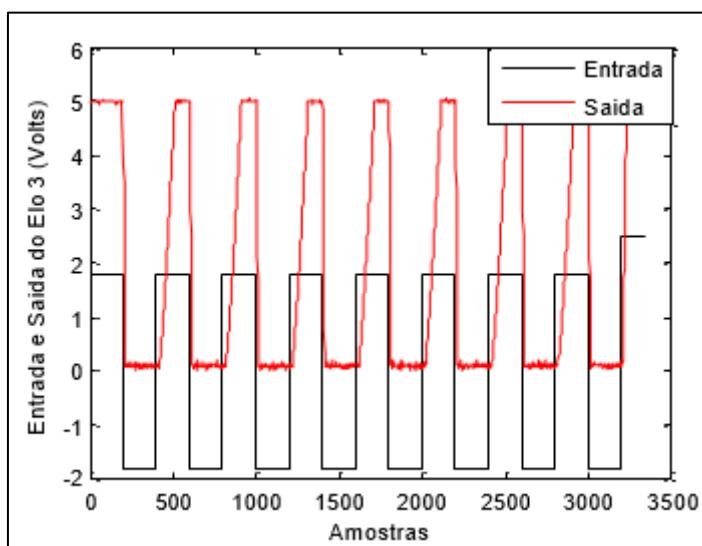
Fonte: Os autores

Figura 2: Sinais de entrada e saída do elo 1 do robô



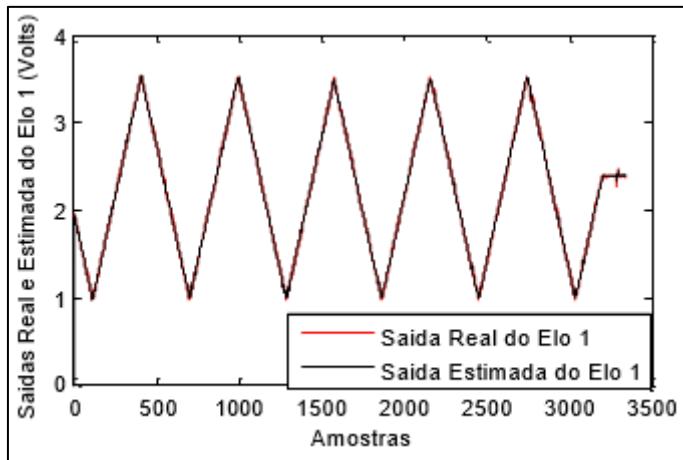
Fonte: Os autores

Figura 3: Sinais de entrada e saída do elo 3 do robô



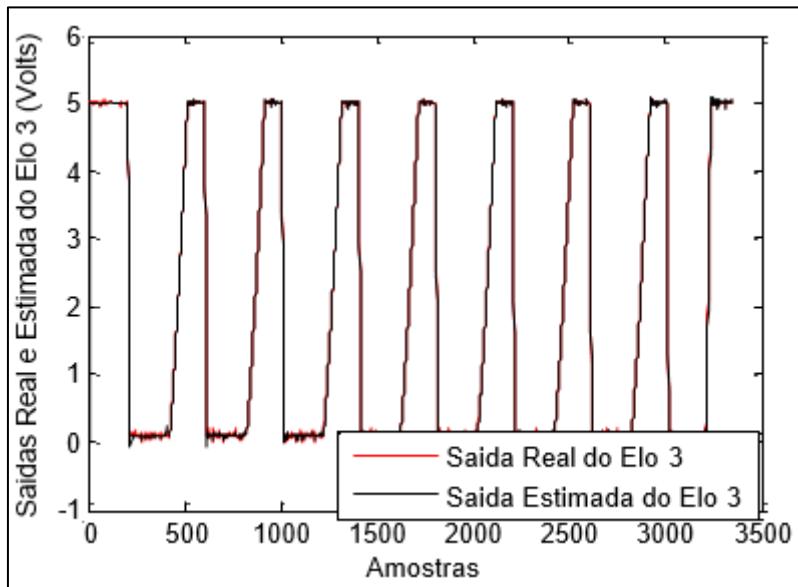
Fonte: Os autores

Figura 4: Saídas real e estimada do elo 1 do robô (modelo 1)



Fonte: Os autores

Figura 5: Saídas real e estimada do elo 3 do robô (modelo 1)



Fonte: Os autores

5. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou técnica de identificação não linear de dois elos de um robô manipulador de três graus de liberdade. A identificação dos modelos foi realizada utilizando- se o algoritmo dos mínimos quadrados recursivo MQR, considerando a dinâmica dos dois elos do robô acoplada.

Três modelos não lineares considerando não linearidade de saída de graus 2 e 3 foram obtidos. Os modelos 1.1 e 1.3 são os mais indicados para implementação em controladores adaptativos, dado os valores do seu coeficiente de correlação múltipla e de suas quantidades de parâmetros.

REFERÊNCIAS

- Aguirre, L. A., 2000. *Introdução à Identificação de Sistemas: Técnicas lineares e não-lineares aplicadas a sistemas reais*, 2^a edição, Belo Horizonte, MG, UFMG.
- Åstrom, K. J., Wittenmark, B., 1995. *Adaptive Control*. 2^a ed., New York: Ed. Addison Wesley Publishing Company, Inc.
- Coelho, A.A.R., Coelho, L.S., 2004. *Identificação de Sistemas Dinâmicos Lineares*. 1^a ed., Florianópolis: Ed. Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.
- Craig, J. J., 1989. *Introduction to Robotics: Mechanics and Control*. Addison-Wesley, 2a ed.
- Isermann, R., Lachmann, K-H., Matko, D., 1992. *Adaptive Control Systems*. Ed. Prentice Hall.
- Riul, J. A. e Montenegro, P. H. M. (2015). Modelamento Não Linear de Dois Elos de um Robô Eletromecânico de Cinco Graus de Liberdade. Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics. 3: 1-7.
- Riul, J. A., Costa Junior A. G. e Montenegro, P. H. M. (2016). Nonlinear Neural Model of a Robot Five Degrees of Freedom. *IEEE Latin America Transactions*. 14: 1652-1655.
- Rúbio, F.R & Sánchez, M.J.L, 1996. *Control Adaptativo y Robusto*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, Espanha.
- Spong, M. W., Vidyasagar, M., 1989. *Robot Dynamics and Control*. John Wiley & Sons.

CAPÍTULO 10

DESENVOLVIMENTO DE BIODIGESTORES ANAERÓBIOS COM SISTEMA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO PARA A PRODUÇÃO DE BIOGÁS UTILIZANDO RESÍDUOS ALIMENTAR E ESGOTO

Claudinei de Souza Guimarães

Engenheiro Químico pela Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (EQ/UFRJ). Mestre em Físico-Química pelo Instituto de Química e Doutorado em Química pelo Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IQ/UFRJ). Professor do Departamento de Engenharia Bioquímica da Escola de Química (DEB/EQ/UFRJ) e coordenador do Laboratório de Controle da Poluição do Ar (LCPA).

Instituição: Universidade Federal do Rio de Janeiro - Escola de Química

Endereço: Av. Athos da Silveira Ramos, 149, Centro de Tecnologia, Escola de Química, Bloco E, Sala 203 Cidade Universitária - Rio de Janeiro - RJ - CEP: 21941-909 - Brasil

E-mail: claudinei@eq.ufrj.br

David Rodrigues da Silva Maia

Engenheiro Químico pela Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (EQ/UFRJ). Mestre em Ciências em Engenharia de Biocombustíveis e Petroquímica pela Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (EPQB/EQ/UFRJ).

Instituição: Universidade Federal do Rio de Janeiro - Escola de Química

Endereço: Av. Athos da Silveira Ramos, 149, Centro de Tecnologia, Escola de Química, Bloco E, Sala 203 Cidade Universitária - Rio de Janeiro - RJ - CEP: 21941-909 - Brasil

E-mail: davidrsmaia@gmail.com

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi construir e desenvolver biodigestores anaeróbios para otimização da produção de biogás, em específico biometano, a partir da codigestão de resíduo alimentar (RA) e esgoto (S) de uma estação de tratamento de esgoto. Os biodigestores operaram com misturas diferentes e na fase mesofílica (37 °C) a fim de verificar a eficiência e viabilidade dos biodigestores construídos, assim como os sensores de gases, sensor de pH, agitadores e software desenvolvido. Durante os 60 dias de experimentos foram testados e avaliados todos os parâmetros de controle e monitoramento dos biodigestores, necessários para a produção de biogás. O biodigestor contendo misturas de RA, S e lodo anaeróbio obtiveram as maiores reduções de matéria orgânica, expressada com a remoção de 88% de SV e 85% de COD, maior produção de biogás (63,0 L) e maior porcentagem, em volume, de metano (90%) e uma produção específica de metano de 0,3 L CH₄/g SV removido. Por fim, foi possível verificar que o sistema embarcado de controle e automação foi simples, eficaz e robusto e o software supervisório bastante eficiente em todos os quesitos definidos para sua concepção.

PALAVRAS-CHAVE: Desenvolvimento de Biodigestores, Codigestão, Esgoto, Resíduo Orgânico, Biogás.

ABSTRACT: The objective of this work was to build and develop anaerobic biodigesters to optimize the production of biogas, in particular biomethane, from the co-management of food waste (AR) and sewage (S) from a sewage treatment plant. The biodigesters operated with different mixtures and in the mesophilic phase (37 °C) in order to verify the efficiency and viability of the constructed biodigesters, as well as the gas sensors, pH sensor, agitators and developed software. During the 60 days of experiments, all the parameters of control and monitoring of the biodigestors, necessary for the production of biogas, were tested and evaluated. The biodigester containing mixtures of RA, S and anaerobic sludge obtained the greatest reductions in organic matter, expressed by removing 88% of SV and 85% of COD, greater production of biogas (63.0 L) and higher percentage, in volume, methane (90%) and a specific methane production of 0.3 L CH₄ / g SV removed. Finally, it was possible to verify that the embedded control and automation system was simple, effective and robust and the supervisory software very efficient in all the questions defined for its conception.

KEYWORDS: Development of Biodigesters, Codigestion, Sewage, Organic Waste, Biogas.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, um dos maiores problemas enfrentados por boa parte dos países, principalmente, os em desenvolvimento, é a disposição final dos resíduos sólidos urbanos (RSU), sobretudo, pelos problemas ambientais, sociais e econômicos causados pelo seu mau gerenciamento. Os custos associados à coleta, transporte e tratamento, inclusive o mais importante destes, ainda dificultam o correto gerenciamento dos resíduos, pois o descarte acaba sendo realizado em áreas inadequadas, como “lixões”, valas e outros locais não providos de infraestrutura adequada ao recebimento destes resíduos (APETATO et al., 1999). Além dos problemas dos RSU, historicamente, a poluição dos recursos hídricos e o acesso a fontes de energia representam desafios para o desenvolvimento econômico, para a saúde humana e a preservação ambiental de todos os países (LANSING et al., 2008; KUNZ et al., 2019).

No Brasil, o resíduo sólido urbano apresenta matéria orgânica como sua fração majoritária, que advém principalmente de restaurantes e resíduos domésticos (PNRS, 2010). Uma das soluções para diminuir estes problemas gerados e tentar reaproveitá-los está no tratamento anaeróbio. Sabe-se que a digestão anaeróbia é um processo através dos quais resíduos orgânicos são biologicamente convertidos, por um consórcio microbiano, na ausência de oxigênio (LI et al., 2011). Além de estabilizar a carga orgânica de resíduos, gera produtos como o biogás, rico em metano, e o digestato, que pode ser usado como condicionador de solos que é historicamente utilizada para a estabilização de lodo gerado no tratamento de esgotos, porém uma aplicação viável para o tratamento de qualquer matéria orgânica (CECCHI et al., 1991). Além do potencial de geração de energia renovável, a digestão anaeróbia vem se tornando um tratamento cada vez mais estudado e mais popular por diversos fatores como a diminuição da disposição de resíduos em aterros sanitários e o atendimento a pequenas comunidades longe dos centros urbanos. Outra vantagem bastante evidente da digestão anaeróbia é a menor geração de lodo. No tratamento anaeróbio cerca de 10% da matéria orgânica é convertida em lodo, com os outros 90% sendo aproveitados como biogás. Destaca-se ainda a aplicabilidade de processos anaeróbios em grande e pequena escala, tendo baixo custo de implantação, baixa demanda de área e alta tolerância a cargas orgânicas elevadas (CHERNICARO, 1997). Desta forma a produção de biogás e o desenvolvimento de tecnologias para a geração de biometano vêm sendo incentivado por vários países

como alternativa para a geração de eletricidade ou cogeração de motores de energia interna (BUDZIANOWSKI, 2015; PATTERSON et al., 2011; JHA et al., 2013; VENKATESH, 2013).

Inicialmente foi avaliada, em diferentes proporções, a codigestão anaeróbia mesofílica de uma mistura de resíduo alimentar de um restaurante universitário e o esgoto de uma estação de tratamento, a fim de obter um melhor aproveitamento do resíduo orgânico e maior produção de metano. O uso da digestão anaeróbia para o tratamento da fração orgânica do resíduo sólido municipal, resíduos alimentares e de feiras de horticultores é largamente citado na literatura (WARD et al., 2008; FERNANDEZ et al., 2010; KIM, 2011; CHARLES et al., 2009).

Dessa forma, a digestão anaeróbia vem se mostrando um tipo de tratamento promissor para os resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil. Além do biogás, a digestão anaeróbia produz um digestato rico em nutrientes que, dependendo de suas características, pode ser usado como fertilizante ou corretivo de solo. Aplicá-lo ao solo se mostra uma opção mais atrativa em termos ambientais, pois permite que os nutrientes sejam recuperados e reduz a perda de matéria orgânica sofrida por solos sob exploração agrícola (MATA-ALVAREZ et al., 2000). Entretanto, para que haja viabilidade na geração de energia, faz-se necessário à utilização de biodigestores anaeróbios e que sejam construídos com baixo custo e com alta tecnologia empregada, além de controlar todos os parâmetros para a otimização da produção de biogás.

Neste sentido, o objetivo principal deste trabalho foi desenvolver os biodigestores anaeróbios com sistema de controle e automação e para isso o projeto foi dividido nas seguintes etapas: desenvolvimento dos biorreatores (biodigestores anaeróbios), construção do sistema de aquecimento, sistema de agitação, sistema de monitoramento dos gases utilizando, inicialmente, sensores de metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) e gás sulfídrico (H₂S) e por fim o desenvolvimento do software a partir das plataformas C e C# para monitorar e controlar os principais parâmetros durante o processo. E teve como fundamentos principais, a utilização materiais de baixo custo, porém com tecnologias atuais, e métodos simples de utilização do sistema visando à reproduzibilidade em larga escala e aplicação industrial.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

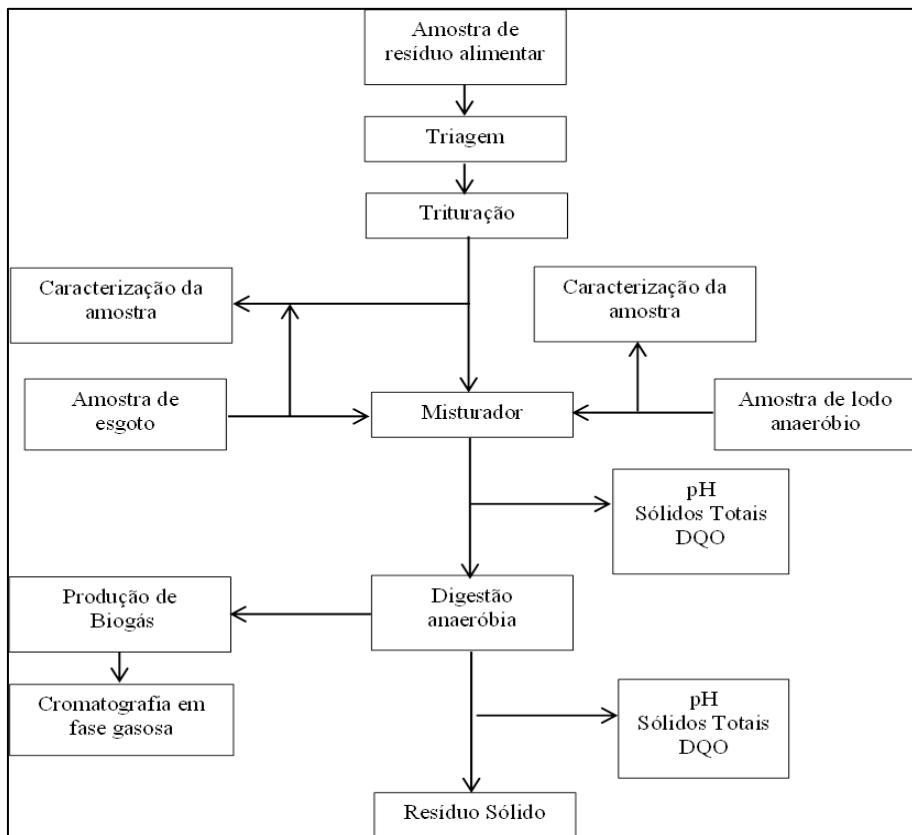
2.1 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS: RESÍDUO ALIMENTAR, ESGOTO E LODO ANAERÓBIO (INÓCULO)

O esgoto bruto foi coletado em uma estação de tratamento de esgoto localizado na cidade do Rio de Janeiro após a etapa de desarenação do tratamento preliminar. A caracterização foi realizada em termos de DQO, umidade, pH, Sólidos Totais (Voláteis e Fixos), Nitrogênio Kjeldahl Total (NKT) e Fósforo Total (PT). O lodo anaeróbio empregado como inóculo nos experimentos foi coletado do reator UASB em operação de uma indústria local, sendo realizadas as mesmas caracterizações do esgoto bruto e depois de retirar a alíquota para caracterização, o lodo era armazenado sob refrigeração (4°C) até o momento de uso. Todas as análises foram determinadas de acordo com APHA (2005). Para o resíduo alimentar, foi realizada a mesma caracterização do esgoto bruto e lodo, e o teste do carbono total (CT). A coleta dos resíduos alimentares era realizada após o período de refeição, onde a sobra removida dos pratos e utensílios era submetida a uma triagem, para separação da fração orgânica, e homogeneizada por meio de quarteamento, conforme norma brasileira (ABNT, 2004). Em seguida, o material homogeneizado era triturado com água destilada nas devidas proporções, sendo parte do material triturado (denominado resíduo alimentar) armazenado sob refrigeração (4°C) até o momento de uso e parte preservado em freezer (-20°C). Inicialmente foram realizados vários experimentos em pequena escala, utilizando frascos de penicilina com volumes de 100 mL, a fim de encontrar as proporções ideais para a maior produção de biogás.

Nos experimentos com frascos penicilina, o resíduo alimentar triturado foi misturado com esgoto bruto para obtenção de diferentes proporções de Peso Seco (PS): 20, 15, 10 e 5%, a fim de se avaliar o efeito da umidade. Os experimentos foram conduzidos com e sem adição de lodo anaeróbio (inóculo) na proporção de 10% v/v, para avaliação do efeito da semeadura. A umidade selecionada, também, foi usada como base para a mistura dos resíduos nos experimentos em biodigestores de bancada. As misturas tiveram seu pH corrigido para valores entre 7 e 8 empregando-se solução 1 M de bicarbonato de sódio (NaHCO₃), e foram suplementadas com fosfato monobásico de potássio para correção da concentração de fósforo, segundo uma relação DQO:P de 350:1. Os frascos foram lacrados com batoques de borracha e lacres de alumínio e, em seguida, incubados a 37 ± 2°C até estabilização da produção de biogás, durante 30 dias, cujo volume foi medido pelo deslocamento do

êmbolo de seringas plásticas de 60 mL conectadas aos selos de borracha. O volume final utilizado foi o de 75% do volume total do frasco, dando assim uma margem de segurança de 25% da superfície do meio à boca do frasco. Essa margem foi importante, pois durante o processo as bolhas de biogás perturbam o meio e o carreiam para cima, podendo entupir as seringas. O biogás produzido, acondicionado em seringas, foram armazenados em temperaturas de -5°C até a análise ser feita em cromatográfica em fase gasosa, sempre que atingida à estabilização do volume de biogás presente nas seringas. Nesta etapa inicial da otimização dos experimentos eram realizadas análises de DQO, Sólidos Totais (voláteis e fixos) e pH antes e após o processo de digestão anaeróbia. O lodo anaeróbio utilizado como inóculo foi coletado em reator anaeróbio da indústria de abate de aves, sendo caracterizado em termos de sólidos totais voláteis. Cada condição foi avaliada com triplicatas, sendo considerados os valores médios de produção de biogás. Posteriormente a esta etapa dos experimentos, a fração ideal foi utilizada nos biodigestores desenvolvidos neste trabalho, em escala de bancada, construídos com volume total de 7 Litros. Os experimentos iniciais de otimização das proporções ideias da codigestão seguiram as etapas descritas no fluxograma apresentado na Figura 1.

Figura 1: Fluxograma das etapas experimentais realizadas neste trabalho.



Fonte: Os autores.

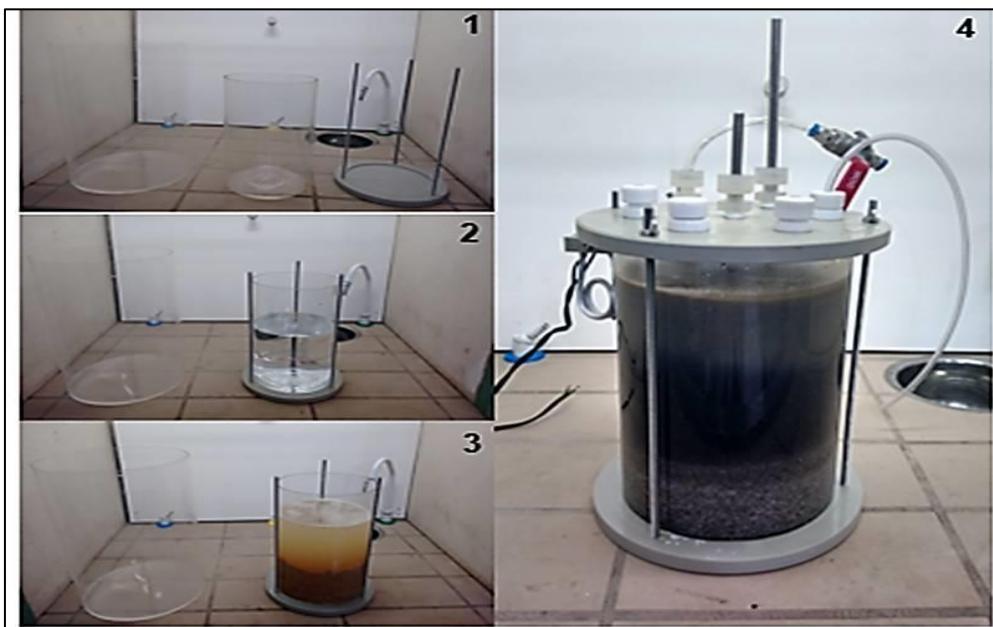
2.2 DETERMINAÇÃO DO PESO SECO (PS) IDEAL PARA SEREM USADOS NOS BIODIGESTORES

A escolha da quantidade do PS ideal para ser colocado nos biodigestores em escala de bancada foi realizada a partir de três experimentos, nos frascos de penicilina, descritos a seguir: Experimento 1 com diferentes misturas de resíduo alimentar, com e sem semeadura. As misturas foram feitas com o objetivo de se obter 20%, 15% e 10% em PS. Experimento 2, foram feitas triplicatas de diferentes misturas de esgoto e resíduo alimentar, com e sem semeadura. As misturas foram feitas com o objetivo de se obter 20%, 15%, 10% e 5% em OS e Experimento 3, realizado com triplicatas de misturas de 10% e 5% PS de esgoto e resíduo alimentar com lodo anaeróbio (inóculo), e ajuste de pH no início do experimento. Um branco com água no lugar de esgoto foi feito concomitantemente com o objetivo de verificar a viabilidade da codigestão. Todos os experimentos foram conduzidos a $37 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e pressão atmosférica, por 30 dias.

2.3 DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO DOS BIODIGESTORES ANAERÓBIOS PARA A PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Após a otimização das proporções realizadas nos frascos de penicilina, foram iniciados os experimentos nos biorreatores (biogestores anaeróbios). Os biorreatores foram construídos com sistema de controle e automação e teve como fundamentos principais a utilização de materiais de baixo custo, porém com tecnologias atuais, e métodos simples de utilização do sistema visando à reproduzibilidade em larga escala futuramente. Seguindo a tendência de utilização de materiais simples, primeiramente, foi concebido o biorreator, sendo confeccionado um recipiente de vidro com geometria cilíndrica, envolvido com acrílico tendo um volume total de 7 Litros, hermeticamente fechado por uma tampa em poliuretano. Nessa tampa foram feitos sete furos, sendo um furo central para passagem da haste da agitação e os outros para: saída do biogás, alojamento dos sensores de temperatura, pH, entrada e retirada de material do biogestor e os demais foram fechados e reservados para uma aplicação futura. O sistema de aquecimento foi baseado em um banho termostático, composto por um recipiente, confeccionado em acrílico e dimensionado para que pudesse comportar o biorreator e o líquido de banho, uma resistência elétrica vulgarmente conhecida como “aquecedor de copo” e uma bomba d’água, utilizada no sistema de esguicho do limpador de para-brisa dos automóveis, para a circulação do fluido de banho. O sistema de agitação foi desenvolvido utilizando um motor, comumente, utilizado para girar o prato de fornos de microondas. Esse tipo de motor foi escolhido por apresentar um baixo custo e por funcionar em baixa rotação o que é preferível em digestores anaeróbios. A esse motor foi fixado uma haste de agitação desenvolvida especialmente para a utilização destes biogestores. Na Figura 2 é apresentado o esquema de montagem e adição dos materiais utilizados nos experimentos, em seguida o pH era ajustado, antes de ser selado para que impedisse a entrada de oxigênio.

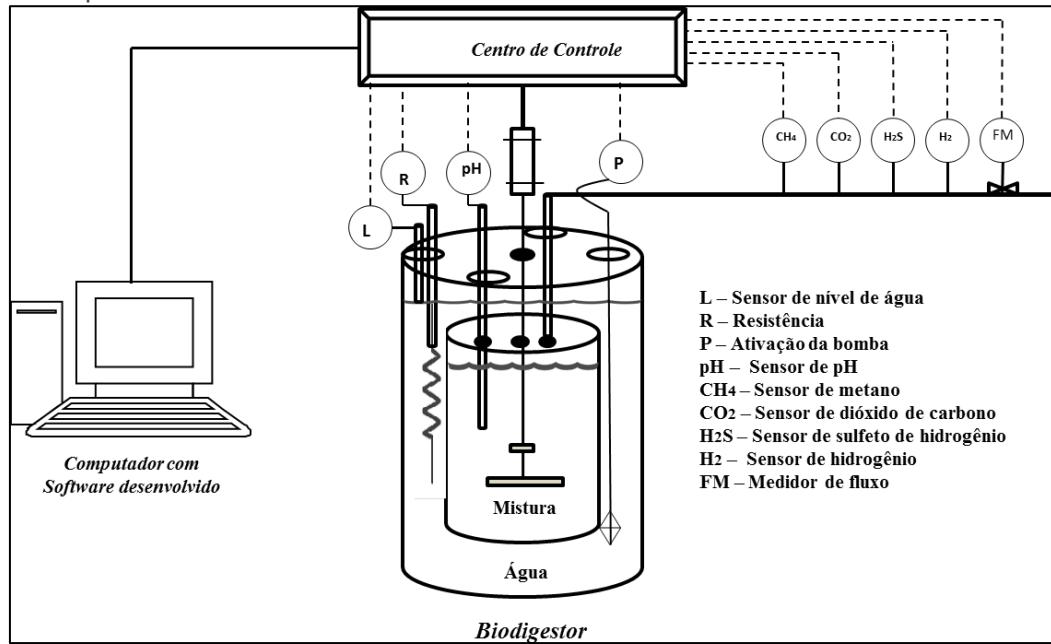
Figura 2: Etapas de montagem dos biodigestores para a realização dos experimentos.



Fonte: Os autores.

A unidade de controle e automação desenvolvida foi composta por um sistema embarcado de controle, Controlador Lógico Programável (CLP), que se comunica com um software supervisório. Esse sistema foi desenvolvido por completo: hardware, firmware e software supervisório. O hardware projetado pode ser dividido em quatro partes principais: microcontrolador-Unidade Central de Processamento, comunicação entre o microcomputador–microcontrolador, módulos de potencia e módulos de condicionamento de sinais dos sensores e visou a atender as necessidades do sistema, que são os Conversores Analógico Digital (ADC), para os sensores, atuadores de alta potência, um para a resistência elétrica, outro para a bomba d'água e o último para o motor de agitação e o sistema de comunicação com o microcomputador. O software de controle e automação foi desenvolvido através do Microsoft Visual Studio 2012 utilizando a programação orientada a objetos e a linguagem Visual Basic e teve como requisitos, definidos na sua concepção, o monitoramento online do pH, temperatura, controle de acionamento da bomba d'água e motor de agitação e PID de temperatura, armazenamento de dados coletados, análise e visualização dos parâmetros monitorados por acesso remoto. O esquema completo do funcionamento do biodigestor é apresentado na Figura 3.

Figura 3: Representação completa do funcionamento do biodigestor anaeróbio desenvolvido e utilizado nos experimentos deste trabalho.



Fonte: Os autores.

2.4 ANÁLISE E CALIBRAÇÃO DOS SENSORES DOS COMPOSTOS PRODUZIDOS NO BIOGÁS

Inicialmente o biogás produzido nos biodigestores era armazenado em bolsas de *Tedlar*, especialmente preparadas para gases, obtidas da Sigma Aldrich. A caracterização do biogás foi feita num Cromatógrafo em fase gasosa, marca da Agilent Technologies, modelo 7820A com detectores de condutividade térmica (DCT) e de ionização de chamas (DIC). As amostras foram analisadas em triplicatas e para os cálculos das concentrações foram utilizados padrões de CO₂, CH₄ e H₂S, adquiridos da White Martins. Os sensores de gases utilizados foram os modelos MQ da Hanwei Eletronics Co., LTD, sendo os mesmos calibrados com os padrões. Os resultados eram comparados com as análises cromatográficas a fim de verificar a eficiência de detecção e quantificação do sistema de monitoramento online feito pelos sensores instalados e o software desenvolvido.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS UTILIZADOS ANTES DA MISTURA

Durante esta etapa de otimização, a fim de verificar as melhores proporções para serem utilizados nos biodigestores, foram feitas três coletas do lodo secundário, resíduo

alimentar e esgoto, sendo realizado somente um teste do carbono total (CT) para o resíduo alimentar de 68,6 mg/L, e as demais caracterizações estão apresentadas na Tabela1.

Tabela 1: Características dos resíduos utilizados nas misturas.

Parâmetros	Resíduo Alimentar (Média ±SD)	Esgoto (Média ±SD)	Lodo (Média ±SD)
Umidade %	75±8,2	97±2,1	93±4,1
pH	5,4±0,2	6,2±0,6	6,5±0,3
SFT (mg/g)	8,4±4,6	0,7±0,2	22,4±3,1
SVT (mg/g)	95,4±34,1	0,6±0,2	31,6±4,4
TKN (mg/L)	18,0	42,0	26,0
PT (mg/L)	0,05	8,2	15,4

Fonte: Os autores.

O resíduo alimentar apresentou umidade menor que o lodo e o esgoto, mas após serem misturados apresentaram umidade próxima aos valores obtidos para o esgoto e o lodo. Os resíduos apresentaram pH ácido, abaixo de 7, indicando que sua mistura final terá pH ácido, e que será necessário a adição de um alcalinizante a fim de ajustar o pH no início dos experimentos. Inicialmente o ajuste de pH foi realizado com NaHCO₃ que poderia dificultar o tratamento anaeróbio, pois causaria o aumento da concentração de sódio em níveis inibitórios. A baixa relação C/N do resíduo alimentar (3,8) indicou a presença de altas concentrações de nitrogênio no resíduo que neste caso poderá ser convertido a amônia, promovendo o aumento do pH e causando a inibição de microrganismos metanogênicos (APPELS et al., 2008). O valor elevado de SVT no resíduo alimentar indica a possibilidade de aumento na produção de biogás, em especial o metano, quando em mistura com lodo de esgoto. Kim et al. (2003) avaliaram a mistura de resíduo alimentar com lodo de esgoto e verificaram que a adição de resíduo orgânico melhora a digestão anaeróbia. Com base nos resultados obtidos na etapa inicial, a melhor proporção foi a 10% em peso seco (PS).

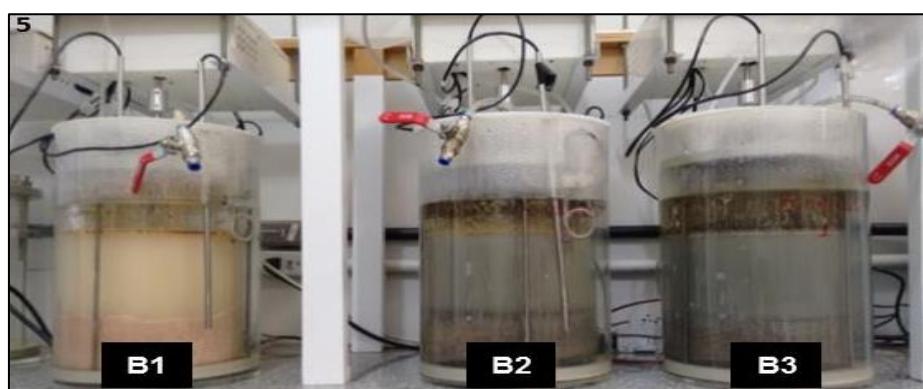
3.2 CONSTRUÇÃO DOS BIODIGESTORES E A EFICIÊNCIA DA CODIGESTÃO DO RESÍDUO ALIMENTAR E O ESGOTO

Nesta segunda etapa do trabalho, após a otimização da proporção ideal da mistura de esgoto, lodo e resíduo alimentar, foram construídos três biodigestores nas seguintes situações: Biodigestor B1 contendo somente uma mistura de resíduo alimentar e Esgoto; Biodigestor B2 contendo mistura de Resíduo Alimentar, Esgoto e Lodo anaeróbio (inóculo) e Biodigestor B3 contendo mistura de Resíduo Alimentar,

Água e Lodo aneróbio. O biodigestor (B1) foi utilizado como um branco, ou seja, um experimento concomitantemente com o objetivo de verificar a viabilidade da codigestão sem a presença do inóculo. Para as misturas foram realizados os testes de Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Totais (ST) e Sólidos Voláteis (SVT) no início e monitorados durante os 60 dias do experimento, além do pH, rendimento, produção do biogás e todos os parâmetros de operacionalidade dos biodigestores. Um esquema completo dos biodigestores funcionando durante os experimentos é apresentado na Figura 4.

Os perfis de eficiência do bioprocesso da co-digestão aneróbia do resíduo alimentar e esgoto para os biodigestores B2 e B3 durante os 60 dias de experimento foram os que apresentaram maior volume de biogás e rendimento de metano, sendo o biodigestor B2 o mais eficiente na produção de biogás e remoção da matéria orgânica expressada pelo SV removidos e DQO, respectivamente, 88% de SV e 85% de COD. Estes resultados podem estar associados com os diferentes tipos de resíduos presentes nos biodigestores, em especial a codigestão do esgoto com o resíduo alimentar que provavelmente contribuiu para o aumento da degradação da matéria orgânica e na maior produção de biogás como apresentado na Tabela 2. A produção específica de metano foi de 0,3 LCH₄/g SV removidos para esta mistura.

Figura 4: Experimentos de operacionalidade e eficiência nos biodigestores construídos utilizando misturas e proporções diferentes. (B1) - Resíduo alimentar + Esgoto; (B2) – Resíduo alimentar + Esgoto + Lodo (inóculo); (B3) – Resíduo alimentar + Água + Lodo (inóculo).



Fonte: Os autores.

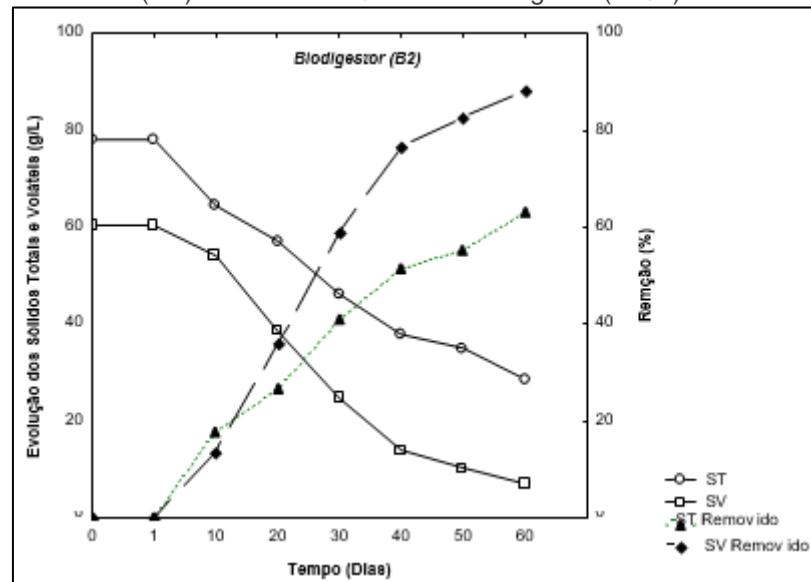
Tabela 2: Rendimento da matéria orgânica removida e na produção do metano nos biodigestores B2 após 60 dias de experimentos.

60 dias	Matéria Orgânica Removida (%)			Produção de Biogás (L/dia)	Volume acumulado (L)	
	SV	DQ O	ST		Biogás	Metano
Biodigestor B2	88	85	63,3	1,1	63,0	56,7

Fonte: Os autores.

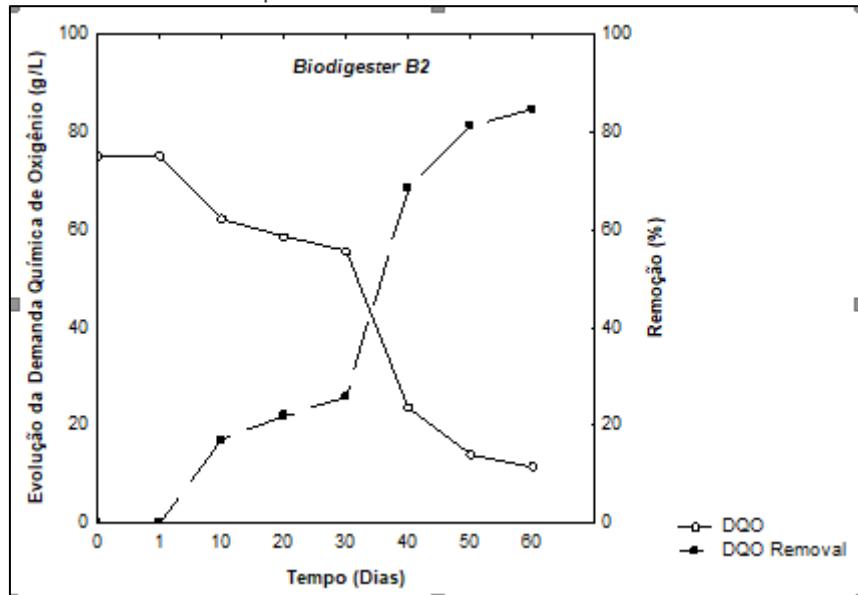
Na Figura 5 pode ser observado a evolução e a eficiência de remoção dos Sólidos Totais e Voláteis obtidos e na Figura 6 a evolução da Demanda Química de Oxigênio (DQO) durante os 60 dias de experimentos para o Biodigestor B2 contendo misturas de resíduo alimentar, esgoto e lodo anaeróbio.

Figura 5: Evolução temporal observada no Biodigestor B2 – Sólidos Totais (ST), Sólidos Voláteis removidos (SV) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) durante 60 dias de experimentos.



Fonte: Os autores.

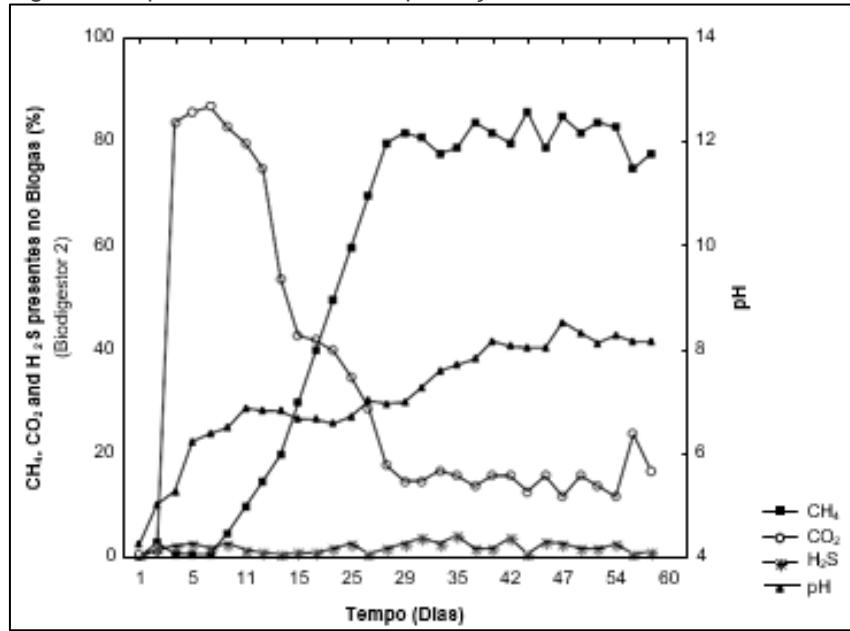
Figura 6: Evolução temporal observada no Biodigestor B2 – Demanda Química de Oxigênio (DQO) durante 60 dias de experimentos.



Fonte: Os autores.

Com a finalidade de avaliar o nível de detecção e quantificação dos sensores de gases (CH_4 , CO_2 e H_2S), foi utilizado um sistema que acondicionasse o biogás em um sistema fechado e a cada dois dias esta amostra passava pelos sensores e depois o resultado era comparado com os das análises cromatográficas. Em todas as amostras foram encontrados erros menores que 5%, implicando em uma confiabilidade do sistema desenvolvido nos biodigestores. O perfil de eficiência da produção de metano associada à variação de pH no biogás é apresentado na Figura 7. Os resultados apresentados indicaram que no início ocorreu alta produção de CO_2 (fase acetogênese) e pH ácido e com o passar do tempo a concentração de CO_2 foi diminuindo e aumentando a concentração do metano. O comportamento do H_2S foi detectado e quantificado em baixas concentrações durante todo experimento comprovando a eficiência do biodigestor para processos anaeróbios. No biodigestor B2 foi necessário corrigir o pH durante os primeiros 10 dias iniciais. O controle de pH necessário foi feito com a adição de hidróxido de sódio (6N).

Figura 7: O perfil de eficiência da produção de metano associada à variação de pH no Biogás.



Fonte: Os autores.

4. CONCLUSÕES

Com todos os experimentos realizados desde a otimização em pequenas escalas com frascos de penicilina e as misturas utilizadas nos biodigestores desenvolvidos em escala de bancada comprovaram que é fundamental este tipo de procedimento para realização de projetos em grande escala, pois além de economizar custos, teremos um maior rendimento nos processos de interesses. Desta forma foi possível observar que o biodigestor B2 (contendo esgoto, resíduo alimentar e lodo anaeróbio) apresentou melhor rendimento na produção de biogás e redução da matéria orgânica. Entretanto é importante destacar que a maior produção de biogás no biodigestor B2, em comparação às outras misturas, não pode ser atribuída tão somente à adição de esgoto à mistura, pois a concentração de matéria orgânica no esgoto é baixa. Tal resultado, talvez, indique que o esgoto contém em sua composição substâncias que complementam as necessidades dos microorganismos anaeróbios e/ou mantém melhores condições para a biodegradação dos constituintes do resíduo.

Para a elevada diferença de volume de biogás entre os biodigestores B2 e os outros indica o efeito da semeadura na biodegradação do resíduo. O resíduo alimentar provavelmente não contém representantes de toda a população microbiana necessária para a completa degradação de seus constituintes, fazendo com que a degradação e, consequentemente, a produção de biogás fosse lenta e praticamente interrompida aos 8-10 dias do experimento.

Os biodigestores 2 por apresentar maior produção de biogás, indica que a população microbiana presente no esgoto, pode ter contribuído para a degradação da matéria orgânica. Experimentos realizados somente com resíduo orgânico comprovaram que o resíduo alimentar, apenas, não possui o consórcio microbiano necessário para a biodigestão anaeróbica mais eficiente.

Com estes resultados encontrados podemos concluir que o biodigestor desenvolvido no laboratório com o sistema de automação e controle foi satisfatório para a produção de biogás. Os parâmetros de controle do pH, temperatura, agitação e o *software* desenvolvido funcionaram corretamente. O emprego de tecnologias atuais e matérias de baixo custo foram suficientes para o propósito dos experimentos, podendo ser empregado em maior escala no futuro.

REFERÊNCIAS

- APETATO, M. M., NOBRE, A. M., ALVES, J. C., ROBALO, G. S., FERREIRA, F., Taxa de Resíduos Urbanos: Deficiências e Soluções, 6^a Conferência Nacional sobre Qualidade do Ambiente, v. 03, p. 363-369, Editora Plátano, Lisboa, 1999.
- BUDZIANOWSKI, W. M. and BUDZIANOWSKA, D. A., *Economic analysis of biomethane and bioelectricity generation from biogas using different support schemes and plant configurations*, Energy, v. 88, p. 658-666, 2015.
- CECCHI, F., PAVAN, P., ALVAREZ, J. M., BASSETTI, A., COZZOLINO, C., *Anaerobic digestion of municipal solid waste: Thermophilic vs. mesophilic performance at high solids*, Waste Management & Research, v. 9, Issue 4, p. 305-315, 1991.
- CHARLES, W., WALKER, L., CORD-RUWISCH, R., *Effect of pre-aeration and inoculum on the start-up of batch thermophilic anaerobic digestion of municipal solid waste*, Bioresource Technology, v. 100, Issue 8, p. 2329-2335, 2009.
- CHENICARO, C.A.L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Volume 5: Reatores Anaeróbios, Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA/UFMG), v. 5, 246p, 1997.
- FERNANDEZ, J., PEREZ, M., ROMERO, L.I., *Kinetics of mesophilic anaerobic digestion of the organic fraction of the municipal solid waste: influence of initial total solid concentration*, Bioresource Technology, v. 101, p. 6322-6328, 2010.
- JHA, A. K., LI, J., ZANG, L., BAN, Q., JIN, Y., *Comparison between Wet and Dry Anaerobic Digestions of Cow Dung under Mesophilic and Thermophilic Conditions*, Advances in Water Resource and Protection, v. 1, Issue 2, 2013.
- KIM, D.H., OH, S.E., *Continuous high-solids anaerobic co-digestion of organic solid wastes under mesophilic conditions*, Waste Management, v. 31, p. 1943-1948, 2011.
- KUNZ, A., STEINMETZ, R. L. R., AMARAL, A.C., *Fundamentos da Digestão Anaeróbia, Purificação do Biogás, Uso e Tratamento do Digestato*, Sbera, Embrapa Suínos e Aves. Concórdia, SC, 2019.
- LANSING, S., BOTERO, R. B., MARTIN, J. F., *Waste treatment and biogas quality in small-scale agricultural digesters*, Bioresource Technology, v. 99, p. 5881-5890, 2008.
- Li, Y., PARK, S. Y., ZHU, J., *Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 15, p. 821-826, 2011.
- PATTERSON, TIM., ESTEVES, S., DINSDALE, R., GUWY, A., *Life cycle assessment of biogas infrastructure options on a regional scale*, Bioresource Technology, v. 102, p. 7313-7323, 2011.
- Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Lei nº 12.305/10. Versão para consulta pública. http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_publicacao/253_publicacao02022012041757.pdf, 2010.
- VENKATESH, G. and ELM, R. A., *Economic-environmental analysis of handling biogas from sewage sludge digesters in WWTPs (wastewater treatment plants) for energy recovery: Case study of Bekkelaget WWTP in Oslo (Norway)*, Energy, v. 58, p. 220-235, 2013.
- WARD, A. J., HOBBIS, P. J., HOLLIMAN, P. J., JONES, D. L., *Optimization of the*

Anaerobic Digestion of Agricultural Resources, Bioresource Technology, V. 99, Issue 17, p. 7928-7940, 2008.

CAPÍTULO 11

ESTUDO SOBRE VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DO LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS COMO INSUMO NA ENGENHARIA CIVIL

Ismael Vanio Agostinho Santana

Mestrando em Dinâmicas de Desenvolvimento do Semiárido pela UNIVASF e

Especialista em Engenharia Ambiental

Instituição: Faculdade Única de Ipatinga

Rua Olinda, 106 - José e Maria, Petrolina/PE

E-mail: prof.ismaelvania@gmail.com

RESUMO: O crescente aumento populacional tem exigido cada vez mais uma solução sustentável e ecológica para disposição final dos resíduos sólidos gerados pelas estações de tratamento de esgotos doméstico e é buscando alternativas a este problema ainda sem solução definitiva que esta pesquisa objetivou analisar as possibilidades de aproveitamento do lodo de esgoto. Os resíduos sólidos (Lodo) advindos destes processos, apesar de muito tóxicos, tendo o tratamento adequado pode ser utilizado na produção de tijolos, agregados leves miúdos, graúdos e como adição à argamassa e concreto, substituindo parte do agregado convencional. Será analisado as alterações referentes a resistência mecânica do material com adições de lodo e a viabilidade técnica de transformar este resíduo em insumo para engenharia civil.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de esgoto; lodo de esgoto; viabilidade; sustentável.

ABSTRACT: The growing population increase has increasingly demanded a sustainable and ecological solution for the final disposal of solid waste generated by domestic sewage treatment plants and it is in the search for alternatives to this problem that still has no definitive solution that this research aimed to analyze the possibilities of using the sludge sewage. The solid residues (sludge) resulting from these processes, although very toxic, having the proper treatment can be used in the production of bricks, light, small and large aggregates and as an addition to mortar and concrete, replacing part of the conventional aggregate. Changes regarding the mechanical strength of the material with additions of sludge and the technical feasibility of transforming this waste into an input for civil engineering will be analyzed.

KEY WORDS: Sewage treatment; sewage sludge; viability; sustainable.

1. INTRODUÇÃO

A crescente busca pelo aumento na produção da sociedade moderna está gerando cada vez mais desequilíbrios ambientais e a preocupação com o grave problema da geração de resíduos sólidos nas estações de tratamento de esgoto vem despertando na sociedade a conscientização da necessidade de estudos que visem melhorar a destinação destes materiais.

Geyer (2001) enfatiza que “a reciclagem de resíduos é um tema que tem ocupado papel de grande destaque nas pesquisas desenvolvidas nos últimos anos.”

Andreoli (2001) indica que “a produção de lodo no Brasil está estimada entre 150 mil e 220 mil toneladas de matéria seca por ano.”

Segundo Andreoli,

Nos Estados Unidos, a produção de lodos no ano 2000 foi estimada em 7,1 milhões de toneladas, devendo chegar a 8,2 milhões em 2010 (EPA, 1999). Na Europa, a produção atual de 8,9 milhões de toneladas deverá alcançar 10,1 milhões já em 2005, decorrente dos grandes investimentos na expansão desses serviços (ANDREOLI, et al, 2001)

Neste contexto, o objetivo principal desta pesquisa é investigar formas seguras e sustentáveis para utilização destes resíduos na produção de agregados leves miúdos, graúdos, tijolos, argamassas e concretos verificando as alterações relacionadas a resistência mecânica à compressão a medida em que se aumentam as proporções de lodo em sua composição.

Para concepção deste artigo, utilizou-se como método a pesquisa bibliográfica e foi embasada em tese de doutorado, livro e dissertação de mestrado publicados por Geyer (2001), Andreoli (2001), Feitosa (2009).

2. DESENVOLVIMENTO

A proposição de aproveitamento do lodo de esgotos domésticos na produção de insumos para a construção civil surgiu da dificuldade que as grandes cidades, principalmente em países desenvolvidos, passaram a enfrentar em dar um destino final aos Lodos gerados, advinda do aumento do tratamento dos esgotos sanitários e, por conseguinte, crescimento do volume de lodos. (ANDREOLI, 2001)

O elevado volume de lodos gerados em grandes centros urbanos passou a ser um problema, além do ponto de vista ambiental, também quanto às áreas para sua disposição final. A tradicional disposição em aterros sanitários passou a ser limitada pela falta de áreas próximas disponíveis e devido aos riscos de contaminações. (GEYER, 2001)

Com o crescimento do problema e a dificuldade cada vez maior em descartar de forma ecológica o lodo do esgoto tratado pesquisadores pelo mundo passaram a dedicar o caso em busca de soluções para que a grande variedade de resíduos sólidos gerado pelas estações de tratamento de esgotos fossem utilizados de maneira segura na indústria da construção civil. (GEYER,2001)

Os primeiros estudos para a utilização de lodos de esgoto como subproduto na engenharia civil estão relacionados à produção de materiais cerâmicos. Esta facilidade se dá pelo fato destes materiais fazerem uso de pouca tecnologia e a não necessidade de matéria prima com alto grau de pureza tornando-as passíveis de receberem adições de lodo de esgoto à sua composição. Porém, a literatura mostra ainda que o lodo pode ser utilizado de diferentes formas na engenharia civil que vão desde a produção de agregados leves ou até mesmo adicionados na produção de argamassas e concretos. (GEYER, 2001).

Segundo Geyer (2001) a literatura mostra duas formas de se utilizar o lodo como insumo na produção de tijolo. A primeira alternativa é utilizar o lodo parcialmente desidratado e a segunda a de adicionar a cinza proveniente da incineração do mesmo.

Em estudos realizados nos Estados Unidos pelos pesquisadores Alleman e Berman (1984), foi observado que os tijolos produzidos com adição de lodos desidratados mostraram uma redução de resistência à compressão e puderam concluir que a adição de lodo para produção de tijolos só é recomendável até limites de 30% em volume. Estes experimentos foram tão significativos do ponto de vista científico que a partir deles criou-se a denominação de tijolos biológicos, para este tipo de novo material. (GEYER, 2001)

Geyer (2001), comenta em seus estudos que Tay (1987) “propôs uma outra forma de aproveitamento dos resíduos de na fabricação de tijolos, que foi a de utilizar cinzas do material incinerado ao invés do lodo parcialmente seco”.

Os experimentos de Tay (1987) consistiram da utilização de cinzas, provenientes da incineração de lodos, à temperatura de 600°C e misturadas na argila para produção de tijolos e os resultados mostraram que a massa específica dos tijolos executados com cinza de lodo é maior que os executados com lodo parcialmente seco e inclusive um pouco superior que o tijolo convencional. (GEYER, 2001)

Sintetizando os estudos realizados por Alleman e Berman (1984) e Tay (1987), pode-se verificar que quando relacionado a resistência à compressão tanto os tijolos produzidos com lodo parcialmente secos quanto os tijolos produzidos com cinzas de

lodo atenderam as normas, porém os tijolos com adição de cinza apresentam muito melhor desempenho. Estas mesmas conclusões valem para outros aspectos como massa específica, absorção de água e fissuramento. (GEYER, 2001)

Existem ainda diversas formas de reaproveitamento do lodo na engenharia civil que podem se tornar viáveis a depender do projeto a ser executado. A literatura mostra o lodo sendo utilizados na produção de agregados graúdos, miúdos e até mesmo como adição na produção de cimentos e concretos. Os estudos mostraram ainda que estes materiais podem ser entendidos, a partir do seu aproveitamento, não mais como resíduo, mas sim como insumo e ao que se refere ao potencial de aproveitamento pela indústria de tijolos, a alternativa mostrou-se tecnicamente positiva. (GEYER, 2001)

Segundo Geyer (2001) no Brasil, desde o ano de 1975 estudos relacionados à produção de agregados leves graúdos produzidos com lodos de esgotos vem sendo estudados por BROSCH et al. (1975), SIMONDI et al. (1989), SANTOS (1992), ambos da cidade de São Paulo e na cidade de Londrina (AGOPYAN e MORALES, 1992).

Brosche (1975) afirma que o agregado produzido a partir dos lodos atende as normas técnicas. Se comparado com outros agregados leves, como a argila expandida, apresenta resultados bastante satisfatórios. (GEYER, 2001)

Conforme Geyer,

A produção de agregado leve encontra, portanto, como principal dificuldade o mercado, o qual tem entendido que esta alternativa é viável tecnicamente, porém de custo elevado em comparação com as alternativas disponíveis. (GEYER, 2001)

Na concepção de agregados miúdos leves, estudos realizados por Kato e Takesue (1984), indicam que a possibilidade da produção a partir de cinza de lodo. O processo de incineração se dá quando a temperatura alcança 1050°C, seguindo-se um rápido resfriamento com água. (GEYER, 2001)

Nos estudos realizados por Kato e Takesue (1984) é possível comprovar que o agregado miúdo leve produzido a partir da cinza de lodo tem densidade menor quando comparado com areia e as argamassas produzidas com lodo incinerado tem sua resistência à compressão aos 7 dias inferior, porém aos 28 dias todas as argamassas apresentam resistência muito semelhantes. Com estes resultados os autores afirmam que o agregado feito de resíduo pode ser uma alternativa tecnicamente viável. (GEYER, 2001)

Em pesquisa realizada por Feitosa (2009) é possível encontrar respostas

quanto a viabilidade técnica da utilização do lodo em porcentagens de 5, 10 e 15% em substituição de areia em um traço convencional de concreto e pode se constatar que adição do lodo de esgoto à areia aumentou significativamente a percentagem da argila do material, passando de 4% no solo natural para valores entre 25 e 30% no solo-lodo. O peso específico dos grãos também sofreu modificações adquirindo tendência a diminuir a medida em que se aumenta a percentagem da quantidade de lodo da mistura. (FEITOSA, 2009)

Outra forma ecológica de utilização destes resíduos é a sua adição de forma metodicamente controlada às argamassas e concretos.

Geyer (2001) experimentou utilizar o lodo de esgoto de diferentes fontes em argamassas e concretos com adições nas frações que variaram entre 5% a 50% em relação à massa do agregado miúdo comparando valores obtidos com concreto constituído por agregados naturais sem adição de lodo.

Segundo Geyer,

Os resultados obtidos para a resistência à compressão de concretos com lodo de diferentes ETAs evidenciaram a não influência da variação do tipo de lodo na resistência mecânica dos traços estudados. Além disso, ratificou-se a proporção de 3% de adição de lodo em relação ao agregado miúdo como o valor otimizado para a obtenção de melhores características mecânicas. (GEYER, 2001)

Para Andreoli (2001) os valores obtidos para resistência à compressão axial nos diferentes traços estudados com adição de lodo de esgoto sugerem a utilização destas argamassas e concretos para diversas aplicações não-estruturais na construção civil, superando os resultados mínimos previstos por norma inerentes ao desempenho mecânico.

Os estudos realizados pelos pesquisadores citados somados à estudos de inovações tecnológicas são inexoravelmente importantes quando observado o crescente aumento do volume de lodo de esgoto sendo descartado de forma inadequada, poluindo cursos d'água e causando problemas de saúde pública. Esta iniciativa não só introduz novos tipos de materiais como incentiva a pesquisa por novas formas de reuso destes resíduos e proporciona melhorias do ponto de vista ambiental.

3. CONCLUSÃO

Para Andreoli (2001) A utilização do lodo em argamassa e concreto pode ser viável em diversas aplicações na construção civil.

Para Feitosa (2009) a resistência de compressão do concreto diminui à medida em que se aumenta o teor de Lodo, porém se utilizado na proporção inferior a 5%, para uso não estrutural torna- se uma opção viável.

Para Geyer (2001) agregados produzidos a partir dos resíduos sólidos atendem as normas técnicas. Os tijolos confeccionados com lodo incinerado possuem propriedades que superam tanto os tijolos confeccionados com lodos parcialmente desidratados quanto os tijolos produzidos somente com argila convencional e os concretos compostos por lodo incinerado, com base nas características do material as possibilidades de aproveitamento são bastante possíveis para uso não estrutural.

Diante do exposto, concluiu-se que a eficiência dos métodos e qualidades dos materiais citados neste artigo produzidos com adição de lodo de esgoto, desde que não utilizados para obras estruturais, não foram observadas restrições ao seu aproveitamento.

REFERÊNCIAS

ANDREOLI, Cleverson Vitório et al (Org.) - Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Curitiba: Abes, 2001. 282 p.

FEITOSA, Maria Célia Alves – Lodo de esgoto: Algumas aplicações em engenharia. Recife, 2009. 120 p.

GEYER, A.L.B. - Contribuição ao estudo da disposição final e aproveitamento da cinza de lodo de estações de tratamento de esgotos sanitários como adição ao concreto. Porto Alegre, 2001. 238 p.

CAPÍTULO 12

PRODUÇÃO DE BIOCOMPOSTOS A PARTIR DE CÉLULA COMBUSTÍVEL MICROBIOLÓGICA

Liziane Nunes da Costa

Mestre em Engenharia Química

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande

Endereço: Avenida Italia, s/n. Km 8 - Bairro Carreiros, Rio Grande – RS, Brasil

E-mail: lizianenc@gmail.com

Ricardo Pereira Branco

Graduando em Engenharia Bioquímica

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande

Endereço: Avenida Italia, s/n. Km 8 - Bairro Carreiros, Rio Grande – RS, Brasil

E-mail: ricardex.branco@hotmail.com

Taiana Denardi de Souza

Doutora em Engenharia e Ciência de Alimentos

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande

Endereço: Avenida Italia, s/n. Km 8 - Bairro Carreiros, Rio Grande – RS, Brasil

E-mail: tdenardisouza@gmail.com

Christiane Saraiva Ogrodowski

Professora Doutora em Engenharia Química

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande

Endereço: Avenida Italia, s/n. Km 8 - Bairro Carreiros, Rio Grande – RS, Brasil

E-mail: christiane.ogrodowski@gmail.com

RESUMO: As células combustíveis microbiológicas são uma tecnologia promissora que utiliza matéria orgânica como substrato para bactérias exoeletrogênicas, proporcionando a geração de eletricidade e o tratamento de efluentes. Ao realizar esta conversão, diferentes compostos podem ser produzidos através do metabolismo bacteriano, no entanto, ainda são pouco explorados. Dessa forma, este estudo visa a construção e operação da célula combustível microbiológica (CCM) inoculada com o sedimento da dragagem do estuário da Lagoa dos Patos para produzir biocompostos. A CCM foi confeccionada com placas de acrílico e volume total de 2 L, inoculada com 70% de sedimento e 30% com meio de cultivo, mantida em câmara termostatizada a 35 °C e pH do compartimento anódico ajustado entre 6,8 e 7,5. A CCM foi alimentada com reciclo total de células e CH₃COOH como fonte de carbono. Após estabilização da voltagem foi realizada a curva de polarização. Foram retirados 0,3 L do anodo e submetidos à extração do biocomposto - *over night* - com etanol 100 % (1:1,5 v/v). O precipitado foi centrifugado e purificado por sucessivas lavagens com água e etanol (1:1,5v/v). O sólido resultante foi seco à 105°C e analisado por espectroscopia de infravermelho. Após 20 dias foi gerada uma diferença de potencial elétrico máximo de 0,72 V, com resistência externa de 1000 Ω. A densidade de potência máxima foi de 237 mW/m² com a resistência externa de 150 Ω. Na identificação do biocomposto verificou-se a presença de ligações químicas características de ácido carboxílico,

éster, aril-cetona e amida terciária. Assim, foi possível a geração de energia e simultaneamente produzir um composto de valor agregado.

PALAVRAS-CHAVE: biopolímero, energia elétrica, sedimento marinho.

ABSTRACT: Microbiological fuel cells are a promising technology that uses organic matter as a substrate for exoelectrogenic bacteria, providing electricity generation and effluent treatment. In carrying out this conversion, different compounds can be produced through bacterial metabolism, however, are still little explored. Thus, this study aims at the construction and operation of the microbiological fuel cell (CCM) inoculated with the sediment from the dredging of the Lagoa dos Patos estuary to produce biocompounds. The CCM was made with acrylic plates and total volume of 2 L, inoculated with 70% sediment and 30% with culture medium, kept in a thermostatic chamber at 35 °C and pH of the anode compartment adjusted between 6.8 and 7.5. The CCM was fed with total cell recycle and CH₃COOH as the carbon source. After stabilization of the voltage the polarization curve was realized. Were removed 0.3L from the anode and subjected to the extraction of the biocompounds - *over night* - with 100 % ethanol (1: 1.5 v/v). The precipitate was centrifuged and purified by successive washes with water and ethanol (1: 1.5 v/v). The resulting solid was dried at 105 °C and analyzed by infrared spectroscopy. After 20 days a maximum electrical potential difference of 0.72 V was generated, with external resistance of 1000 Ω. The maximum power density was 128 mW/m² with external resistance of 150 Ω. In the identification of the biocompounds the characteristic chemical bonds of carboxylic acid, ester, aryl ketone and tertiary amide were verified. Thus, it was possible to generate energy and simultaneously produce a value-added compound.

KEYWORDS: biopolymer, electric energy, marine sediment.

1. INTRODUÇÃO

Em busca do desenvolvimento de uma inovação para a produção de energia elétrica que, além de minimizar e substituir os combustíveis fósseis reduzam o impacto ambiental, surgiram as células combustíveis microbiológicas (CCM), uma promissora tecnologia que une a geração de eletricidade com o tratamento de efluentes (TELEKEN et al., 2017; WANG et al., 2013). As células combustíveis microbiológicas podem converter diretamente energia química em eletricidade pelo uso de bactérias exoeletrogênicas, os microrganismos transferem os elétrons produzidos por seu metabolismo e degradam as substâncias oxidáveis produzindo metabólitos (LOGAN, 2008).

Uma CCM pode utilizar substratos orgânicos complexos, incluindo águas residuais domésticas, industriais e agrícolas, como fonte de produção de energia (PANT et al., 2010).

Assim, utilizar o material oriundo da dragagem do Porto de Rio Grande como matéria-prima para a produção de eletricidade e bioproductos passa a ser uma possibilidade promissora, levando em conta que uma grande quantidade de sedimento marinho é retirado a cada processo de dragagem e este resíduo possui alta carga de nutrientes, microrganismos e matéria-orgânica. Os metabólitos produzidos pelos microrganismos durante a operação das CCM podem ser proteínas, enzimas, polímeros, oligômeros, entre outros. As lamas possuem alta carga de matéria orgânica biológica extracelular e as substâncias poliméricas extracelulares (SPE) são seus principais constituintes, compreendendo uma mistura de polímeros de alta massa molecular, tais como polissacarídeos, glicoproteínas, ácidos nucleicos, lipídios e ácidos húmicos (JIANG et al., 2010; HONG et al., 2017). Carboidratos são observados principalmente em SPE produzidos a partir de culturas puras, enquanto as proteínas são encontradas em maiores quantidades em SPE do sedimento de muitas plantas de tratamento de águas residuais (LIU e FANG, 2002).

Assim, levando em consideração o funcionamento da célula combustível microbiológica e as características do sedimento marinho, este trabalho tem como objetivo a construção e operação da CCM para produzir biocompostos a partir do sedimento obtido do estuário da Lagoa dos Patos.

2. METODOLOGIA

A CCM foi confeccionada com placas de acrílico com um volume total de 2 L,

sendo 50 % dedicados ao ânodo (1 L) e 50 % destinados ao cátodo (1 L). Estes compartimentos são separados por uma membrana catiônica (CMI-7000S - Membranas International Inc.). O compartimento anódico permanece sob agitação constante de 500 rpm por meio de um impelidor. A CCM foi mantida em câmara termostatizada a 35 °C e pH do compartimento anódico ajustado entre 6,8 e 7,5.

A CCM foi inoculada com sedimento do estuário da Lagoa dos Patos coletado na coordenada 31°58'25"S/52°02'24"O. O volume do compartimento anódico foi inoculado com 70 % de sedimento e o restante com meio de cultivo composto por uma mistura de sais. Como fonte de energia e carbono, utiliza-se CH₃COOH na concentração de 10 g/L. O compartimento catódico do reator foi preenchido com uma solução de ferricianeto de potássio K₃Fe(CN)₆ 50 mM, constituindo o aceptor final de elétrons (DE SÁ et al., 2017).

A CCM foi alimentada com reciclo total de células, onde uma amostra de 0,3 L foi retirada do ânodo diariamente e centrifugada a 18800 g e 30 °C. Os sólidos foram separados através de centrifugação e suspensos com 0,3 L de meio de cultivo com 10 g/L de fonte de carbono. Após o ajuste do pH dessa suspensão, a mistura foi utilizada para alimentar o reator. No sobrenadante obtido da centrifugação foi realizado a extração do biocomposto utilizando um solvente orgânico.

Após estabilização da voltagem produzida no reator, realizou-se a curva de polarização para determinar com qual resistência externa ela apresenta densidade de potência máxima. Na construção da curva de polarização em uma célula eletroquímica aplicam-se diferentes valores de resistores conhecidos e realiza-se a leitura da diferença de potencial elétrico (DDP) gerada entre o ânodo e o cátodo para cada uma das resistências aplicadas. A representação da corrente elétrica em função da DDP é chamada de curva de polarização.

À alíquota de sobrenadante obtida do processo de centrifugação é adicionado álcool etílico absoluto a uma proporção de 1:1,5 (sobrenadante:álcool etílico), deixando-os em contato por 24 h a temperatura de 4 °C, após a formação do precipitado submete-se a centrifugação (18800 g, 4 °C, 20 min). Para pré-purificação do biocomposto são realizadas sucessivas centrifugações na proporção de água e etanol (1:1,5 v/v). O sólido resultante desse processo de separação foi mantido sob refrigeração para posterior análise.

O material obtido através do processo de extração foi seco em estufa (Solab, modelo SL104/64) a 105 °C até massa constante e analisado por espectroscopia de

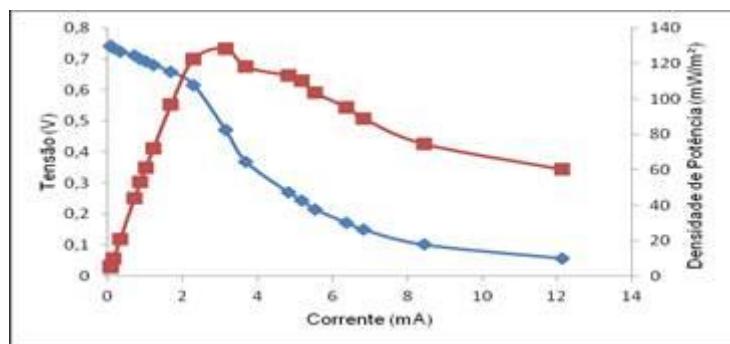
infravermelho que caracterizou o bioproduto através de suas ligações químicas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A CCM foi inoculada com sedimento marinho e após seis dias do *start up*, nas condições estabelecidas, observou-se a primeira medida de DDP, porém sua estabilização levou 20 dias para ocorrer, chegando ao valor máximo de DDP de 0,72 V (curva azul), com resistência externa de 1000 Ω, como observa-se no gráfico da Figura 1.

Com a CCM estabilizada, após 30 dias de experimento, realizou-se a curva de polarização e determinou-se que a célula atingiu a densidade de potência máxima de 128 mW/m² (curva vermelha) com a resistência externa de 150 Ω (Figura 1).

Figura 1: Curva de polarização da CCM estabilizada por 30 dias.



De acordo com os resultados de densidade de potência expostos por Mesquita (2016), ao qual ao utilizar uma CCM com volume de 20 mL em cada compartimento e inoculada também com o sedimento marinho, atingiu uma densidade de potência máxima de 255 mW/m² com resistência externa de 180 Ω. Ao relacionar a densidade de potência máxima descrita por Mesquita (2016) a obtida neste trabalho, onde atingiu-se 237 mW/m² de densidade de potência máxima (Tabela 1) com a resistência externa de 150 Ω e após estabilização da célula, observa-se que este resultado é satisfatório pois a diferença na potência é de apenas 7 % com a diminuição da resistência. Sendo assim, utilizar uma resistência externa de menor valor é mais vantajoso, pois esta influencia diretamente na corrente gerada e no desempenho da CCM, ou seja, quando se diminui a resistência externa tem-se um aumento da corrente.

Com a CCM estabilizada, realizou-se a extração de biocompostos. Após análise das amostras de biocompostos em infravermelho e realização da interpretação dos resultados, verificou-se a presença de diferentes grupos funcionais, conforme dados da Tabela 2.

Tabela 2: Grupos funcionais presentes no biocomposto obtidos da CCM.

Ligações	Grupo funcional	Comprimento de onda (cm ⁻¹)
C=O	Carbonila	1820-1630
O-H	Ácido carboxílico	3200-2500
C=O	Éster	1750-1670
C=O	Aril-cetona	1700-1630
C=O	Amida terciária	1700-1630
S-H	Tiofenol	2600-2550
C=C	Alceno	1680-1620
NO ₂	Grupo nitro	1380-1300
C-C	ArH	~1450
C-N	Aril-Alquil-Amina	1360-1250
C-X	Haletos de alquila	1400-500
C-H	Alcano (CH ₃)	3000-2840

Fonte: Os autores.

Uma ampla variedade de grupos funcionais presentes no biocomposto foi determinada após a análise espectroscópica de infravermelho. Verificou-se a presença

de ligações químicas características de ácido carboxílico, éster, aril-cetona e amida terciária, característicos de biopolímeros. Destacaram-se também grupos funcionais, ligações duplas, enxofre, nitrogênio e aromáticos.

4. CONCLUSÕES

Com o aperfeiçoamento das células combustíveis microbiológicas, conclui-se que elas podem ser um bom substituinte para os métodos tradicionais de produção de energia, já que convertem diretamente energia química em eletricidade utilizando fontes renováveis, diminuindo assim o impacto ambiental. Além de ser uma tecnologia promissora para geração de energia, e também pode produzir compostos de valor agregado.

REFERÊNCIAS

- DE SÁ et al. Anode air exposure during microbial fuel cell operation inoculated with marine sediment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 5, p. 1821-1827, 2017.
- HONG et al. Optimum selection of extraction methods of extracellular polymeric substances in activated sludge for effective extraction of the target components. *Biochemical Engineering Journal*, v. 127, p. 136-146, 2017.
- JIANG et al. Extracellular biological organic matters in microbial fuel cell using sewage sludge as fuel. *Water Research*, v. 44, p. 2163-2170, 2010.
- LIU, H., FANG, H.H.. Extraction of extracellular polymeric substances (EPS) of sludges. *J. Biotechnol*, v. 95, p. 249–256, 2002.
- LOGAN, B. E. *Microbial fuel cells*, Wiley-Interscience *Microbial fuel cells*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2008.
- MESQUITA, D. *Produção de Energia Elétrica em Célula Combustível Microbiológica com Sedimento de Dragagem do Porto de Rio Grande*. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande.
- PANT, et al. Review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production. *Bioresource Technology*, v. 101, p. 1533-1543, 2010.
- TELEKEN et al. Mathematical Modeling of the Electric Current Generation in a Microbial Fuel Cell Inoculated with Marine Sediment. *Journal of Chemical Engineering*, v. 34, n. 01, p. 211-225, 2017.
- WANG et al. Power production from different types of sewage sludge using microbial fuel cells: A comparative study with energetic and microbiological perspectives. *Journal of Power Sources*, v. 235, p. 280-288, 2013.

CAPÍTULO 13

MULTIVARIATE SELECTION OF NUTRIENT PARAMETERS IN SUBMERGED CULTURE OF *KLUYEROMYCES MARXIANUS* FOR BIOSURFACTANT PRODUCTION

Claudia Eugênia Castro Bravo

Doutora em Ciências dos Alimentos pela Universidade Federal de Lavras Universidade Tecnológica Federal do Paraná câmpus Francisco Beltrão

Endereço: Departamento Acadêmico de Química e Biologia, Linha Santa Bárbara, s/n, CEP: 85601-970, Caixa Postal 135, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil

E-mail: claudiacastro@utfpr.edu.br

Regiane Strapazzon

Bacharel em Engenharia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná Universidade Tecnológica Federal do Paraná câmpus Francisco Beltrão

Endereço: Linha Santa Bárbara, s/n, CEP: 85601-970, Caixa Postal 135, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil

E-mail: regianestrapazzon@hotmail.com

Roberta Castro Martins

Acadêmica de Química pela Universidade Federal de Lavras Universidade Federal de Lavras

Endereço: Departamento de Química. Campus Universitário, Caixa Postal 3037, CEP:37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil

E-mail: roberta.martins@estudante.ufla.br

Adir Silvério Cembranel

Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná Universidade Tecnológica Federal do Paraná câmpus Francisco Beltrão

Endereço: Departamento Acadêmico de Engenharias. Linha Santa Bárbara, s/n, CEP: 85601-970, Caixa Postal 135, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil

E-mail: adircembranel@utfpr.edu.br

Ellen Porto Pinto

Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas Universidade Tecnológica Federal do Paraná câmpus Francisco Beltrão

Endereço: Departamento Acadêmico de Ciências Agrárias. Linha Santa Bárbara, s/n, CEP: 85601-970, Caixa Postal 135, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil

E-mail: ellenporto@utfpr.edu.br

RESUMO: Surfactants are compounds that decrease surface tension and are produced by chemical or biological synthesis. Biosurfactants are produced by the metabolism of microorganisms and have advantages regarding the use of chemicals, mainly due to the low toxicity and biodegradability. Initially a fractional factorial design $2^{(6-2)}$ was applied to study the effect and interactions of concentrations of different nutrients on the production of biosurfactants by yeast *Kluyveromyces marxianus* (CCT-3172). Aliquots of 1 % (v/v) of microbial inoculum were transferred to the culture media prepared according to the experimental design and incubated on a shaker table at 200 RPM and with a temperature control at $28^{\circ} \text{C} \pm 2$ for 144 hours. The biosurfactant

production was verified by the emulsification index (E24) following the methodology of Cooper and Goldenberg (1987). Based on the experimental results, the yeast *K. marxianus* (CCT- 3172) demonstrated potential for biosurfactant production, evidenced by the emulsifying index in fermentation medium. With the application of factorial design, it was concluded that to maximize the biosurfactant production process, the ammonium sulfate and glycerol must be absent from the fermentation medium to eliminate its negative effects in the process. In a next step, the objective is to apply the response surface methodology to optimize biosurfactant production.

PALAVRAS-CHAVE: Environmental microbiology, Culture médium, Emulsifying index, Vegetable oils, Yeast.

ABSTRACT: Surfactantes são compostos tensoativos que diminuem a tensão superficial e são produzidos por síntese química ou biológica. Os surfactantes biológicos ou biosurfactantes são produzidos pelo metabolismo de microrganismos e apresentam vantagens em relação ao uso dos químicos, principalmente pela baixa toxicidade e biodegradabilidade. Inicialmente um planejamento fatorial fracionado $2^{(6-2)}$ foi aplicado para estudar o efeito e interações das concentrações de diferentes nutrientes na produção de biosurfactantes pela levedura *Kluyveromyces marxianus* (CCT-3172). Aliquotas de 1 % (v/v) de inóculo microbiano foram transferidas para os meios de cultura preparados de acordo com o planejamento experimental e incubados em mesa agitadora a 200 R.P.M. e com controle de temperatura a $28^{\circ}\text{C}\pm2$ por 144 horas. A produção de biosurfactante foi verificada pelo índice de emulsificação (E24) seguindo a metodologia de Cooper e Goldenberg (1987). Com base nos resultados experimentais, a levedura *K. marxianus* (CCT-3172) demonstrou potencial para produção de biosurfactante, evidenciadas pelo índice emulsificante em meio de fermentação. Com a aplicação do planejamento fatorial, concluiu-se que para maximizar o processo de produção de biosurfactante, o sulfato de amônio e glicerol devem estar ausentes do meio fermentativo para eliminar seus efeitos negativos no processo. Em uma próxima etapa, têm-se como objetivo aplicar a metodologia de superfície de resposta para otimização da produção do biosurfactante.

KEYWORDS: Microbiologia Ambiental, Meio de Cultura, Índice Emulsificante, Óleos vegetais, Leveduras.

1. INTRODUCTION

Surfactants are compounds with surfactant properties, which can be produced by chemical synthesis (synthetic surfactants/chemical) or biological (biosurfactants). Its molecular structure is composed of a hydrophilic and a hydrophobic part, which guarantee unique properties of great industrial interest such as: detergency, emulsification, lubrication, foaming capacity, wetting capacity, solubilization and phase dispersion (GOUVEIA et al., 2003). Most commercially available surfactants are synthesized from petroleum derivatives and are toxic to different organisms, and are not readily biodegradable. When compared to chemical surfactants, biologicals have advantages such as: biodegradability; low toxicity; reduction of surface tension; solubility; pH and temperature tolerance; production from alternative waste and environmental acceptability (COLLA and COSTA, 2003).

Biosurfactants are a natural class of surface active molecules with diverse structures that are produced by different microorganisms, including bacteria, yeasts and filamentous fungi (SOUZA et al., 2017). In literature consulted (BICCA et al, 1999; NITSCHKE and PASTORE, 2003; BARROS et al., 2008; ABDEL-MAWGOUD et al., 2008; GASPARIN et al., 2012; DOS SANTOS and JÚNIOR, 2011; DECESARO et al., 2013; AL-WAHAIBI et al., 2014; DE FRANÇA et al., 2014; ALMEIDA et al., 2015; MORAIS et al., 2015; AGUIAR et al., 2015, ZHANG, 2016) a high incidence of studies reporting the production of microbial biosurfactants of bacterial origin was found, and the pathogenic nature of some producers restricts the wide application of these compounds.

The evaluation of biosurfactant production by yeasts has increased in recent years and several lineages have been reported as promising biosurfactant producers due to their high production yield and high substrate conversion rates. Among them are species belonging to genera *Candida*, *Starmerella*, *Pseudozyma* ou *Yarrowia*, *Wickerhamomyces* (SARUBBO et al., 2001; LUKONDEH et al, 2003; AMARAL et al., 2006; AMÉZCUA-VEGA et al., 2007; FONTES et al., 2008; DAVEREY and PAKSHIRAJAN, 2010; ACCORSINI et al, 2012; FONTES et al., 2012; ALMEIDA et al., 2014; FREITAS et al., 2015; JIMÉNEZ-PEÑALVER et al., 2016; CLAUS and VAN BOGAERT, 2017; SOUZA et al., 2017; JIMÉNEZ-PEÑALVER et al., 2018; LIU et al., 2018).

A great advantage of the use of yeasts lies in the status GRAS (*generally regarded as safe*), that is, many of them, such as *Yarrowia lipolytica*, *Saccharomyces*

cerevisiae and *Kluyveromyces lactis*, pose no risk of toxicity and pathogenicity (BARTH and GAILLARDIN, 1997; MEDEIROS et al., 2001; LUKONDEH et al, 2003) which allows its use for applications in food and pharmaceutical industries.

The influence of the carbon source on the biosurfactant production by different microorganisms strains has been studied and the scientific literature indicates the use of a wide diversity among carbon sources, such as soybean oil, sunflower oil, corn oil, glycerol, glucose, hexadecane and others (CASAS and GARCIA-OCHOA, 1999; CAVALERO and COOPER, 2003; FONTES, et al., 2008; KURTZMAN et al., 2010; RUFINO et al., 2014; KONISHI et al., 2015; SHAH et al., 2017; SOUZA et al., 2017; LIU et al., 2018). These compounds play an important role in the survival of the producing microorganisms, since they increase the solubility of the water insoluble compounds, facilitating their transport to the cell, participate in processes such as adhesion and cell aggregation, *quorum sensum* detection, biofilm formation and defense against other microorganisms (VAN BOGAERT et al., 2007; GUDIÑA et al., 2013).

Although the scientific work clearly demonstrates the influence of different nutritional variables on biosurfactant production, there is no agreement on the optimum concentration values for some nutrients used in the culture medium.

The carbon and nitrogen source choice based on the classic optimization method by changing an independent variable and keeping all others at a fixed level is extremely time consuming and expensive in the case of a large number of variables. In addition, the observation of the effects of variables and their interactions is extremely important to understand the processes that are being monitored in a certain system (PEREIRA-FILHO et al., 2002). However, the limitations of the single-factor optimization process can be overcome through the use of multifactor statistical experimentais designs, such as the experimental design the factorial and surface response (JOSHI et al., 2008). According to PERALTA-ZAMORA et al. (2005), factorial experimental planning allows us to simultaneously evaluate the effect of a large number of variables from a small number of experimental trials.

Thus, the objective of this work was to study the effect and interactions of the concentrations of different nutrients on biosurfactants production by the yeast *Kluyveromyces marxianus* applying a factorial design.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 EXPERIMENTAL DESIGN – PROCESS VARIABLES

The test production followed a fractional experimental design of Resolution IV $2^{(6-2)}$ with a total of 16 tests obtained with the aid of the statistical software *Statistica 8.0*. The process independent variables studied were: soybean oil (X1), corn oil (X2), glycerol (X3), glucose (X4), ammonium sulfate (X5), and yeast extract (X6) and the responses to the experimental planning trials were the emulsifying index.

2.2 INOCULUM PREPARATION AND YEAST INOCULATION

The inoculum of the yeast *Kluyveromyces marxianus* (CCT-3172) preparation occurred by means of yeast growth in yeast culture medium (Malt Extract – 0.3 g%; Yeast Extract – 0.3 g%; Bacterial Peptone - 0.5 g%; Glucose – 0.1g% Agar – 2.0g%), incubated in BOD for 48 hours at 28°C. After this period, with the aid of a platinum loop, the inoculum was transferred to erlenmeyer flask containing 150 mL of previously sterilized yeast culture medium broth. The incubation was carried out in a shaker at 200 RPM and with temperature control at 28°C for 24 hours (RUFINO et al., 2007). After this period, aliquots of 1% (v/v) of the inoculum were transferred to the sixteen experiments containing the base medium (0.1% ammonium nitrate, 0.02% monopotassium phosphate, 0.02% magnesium sulfate heptahydrate) and the independent variables soybean oil (X¹), corn oil (X²), glycerol (X³), glucose (X⁴), ammonium sulfate (X⁵) and yeast extract (X⁶), according to the concentrations established by the factorial planning fraction $2^{(6-2)}$ (Table 1).

Table 1: Concentration of independent variables in different trials

Independent Variables						
Trials	X1	X2	X3	X4	X5	X6
1	0,2	2,0	2,0	1,0	0,1	0,2
2	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0	0,2
3	0,2	20,0	2,0	1,0	1,0	2,0
4	2,0	20,0	2,0	1,0	0,1	2,0
5	0,2	2,0	20,0	1,0	1,0	2,0
6	2,0	2,0	20,0	1,0	0,1	2,0
7	0,2	20,0	20,0	1,0	0,1	0,2
8	2,0	20,0	20,0	1,0	1,0	0,2
9	0,2	2,0	2,0	10,0	0,1	2,0
10	2,0	2,0	2,0	10,0	1,0	2,0

11	0,2	20,0	2,0	10,0	1,0	0,2
12	2,0	20,0	2,0	10,0	0,1	0,2
13	0,2	2,0	20,0	10,0	1,0	0,2
14	2,0	2,0	20,0	10,0	0,1	2,0
15	0,2	20,0	20,0	10,0	0,1	2,0
16	2,0	20,0	20,0	10,0	1,0	2,0

Source: The authors

After this procedure the erlenmeyers were incubated in a shaker at 200 RPM and with temperature control at 28°C for 144 hours following the methodology of Rufino et al. (2007).

2.3 EMULSIFYING INDEX DETERMINATION

The emulsifying index (E24) was determined following the methodology of Cooper and Goldenberg (1987). Emulsifier activity was measured by adding 2 mL of hexane to 2 mL of centrifuged fermented medium and vortexing at high speed for 2 min. Measurements were made 24 h later. The emulsion index (E24) is the height of the emulsion layer, divided by the total height, multiplied by 100.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Biosurfactant production was evidenced by the results obtained by emulsifying index in the fermented medium by *K. marxianus* (Table 2). The condition with the lowest emulsifying index was found in trial 2 (3.33%), consisting of 2% soybean oil; 2% corn oil; 2% glycerol; 1% glucose; 1% ammonium sulfate, and 0.2% yeast extract. On the other hand, the condition with the highest emulsifying index was found in trial 12, with emulsifying index of 60%, consisting of 2% soybean oil; 20% corn oil; 2% glycerol; 10% glucose; 0.1% ammonium sulfate, and 0.2% yeast extract.

Table 2: Percentage of the emulsifying index of *K. Marxianus*

Independent Variables							Dependent Variable
Trials	X1	X2	X3	X4	X5	X6	Emulsifying Index (E24)
1	0,2	2,0	2,0	1,0	0,1	0,2	8,33
2	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0	0,2	3,33
3	0,2	20,0	2,0	1,0	1,0	2,0	33,33
4	2,0	20,0	2,0	1,0	0,1	2,0	56,66
5	0,2	2,0	20,0	1,0	1,0	2,0	16,66
6	2,0	2,0	20,0	1,0	0,1	2,0	40,0
7	0,2	20,0	20,0	1,0	0,1	0,2	10,0

8	2,0	20,0	20,0	1,0	1,0	0,2	10,0
9	0,2	2,0	2,0	10,0	0,1	2,0	33,33
10	2,0	2,0	2,0	10,0	1,0	2,0	13,05
11	0,2	20,0	2,0	10,0	1,0	0,2	40,0
12	2,0	20,0	2,0	10,0	0,1	0,2	60,0
13	0,2	2,0	20,0	10,0	1,0	0,2	4,00
14	2,0	2,0	20,0	10,0	0,1	2,0	50,0
15	0,2	20,0	20,0	10,0	0,1	2,0	50,0
16	2,0	20,0	20,0	10,0	1,0	2,0	8,33

Source: The authors

According to the statistical analysis at 95% confidence level ($p \leq 0.05$), the independent variables that produced a negative effect were glycerol (X3) and ammonium sulfate (X5), the latter statistically significant at the level of 95% confidence ($p \leq 0.05$) (Table 3).

Table 3: Estimates of the effects of each variable and significance with $p < 0.005$ for the emulsifying index

Trials	Effects	p
Soybean oil	10,5487	0,142718
Corn oil	17,2863	0,027274*
Glycerol	-1,7963	0,790653
Glucose	15,6338	0,041208*
Ammonium sulfate	-16,8688	0,030271*
Yeast extract	13,0462	0,078257

Source: The authors

* is significant at 5 % (≤ 0.05)

On the other hand, the variables corn oil (X2) and glucose (X4) showed a significant positive effect ($p \leq 0.05$). Thus, as the concentrations of corn oil (X2) and glucose (X4) increase, the emulsifying index also increases. The variables, soybean oil (X1) and yeast extract (X5) had a positive effect, however, were not statistically significant ($p \geq 0.05$). However, if the concentrations of ammonium sulphate increase, a decrease in the emulsifying index occurs, thus due to its negative and significant effect ($p \leq 0.05$).

According to Gudiña et al. (2017), several microorganisms produce biosurfactants. The production efficiency is determined by the microorganism genetics,

as well as the type of substrate, available nutrients, carbon source, environmental conditions, and other factors.

Casas and Ochoa (1999) evaluated the production of biosurfactants from different species of yeasts and concluded that the glucose concentration produced a positive effect on the biosurfactant production and promoted an increase in the emulsification index. Accorsini et al. (2012) studied the biosurfactant production by a consortium of yeasts, and at the end of the trials found that soybean oil and glucose are excellent sources of carbon for biosurfactant production.

The results found by Dikit et al. (2010) and Abreu et al. (2012) corroborate with the results found in this work. These authors obtained emulsifying indices ranging from 49 to 64.3% and 62.5% ($\pm 0.88\%$), respectively, in extract containing mannoprotein. The ability of the yeast to form emulsions is related to mannoprotein, i.e. the hydrophilic part of mannose, which binds with protein part, is hydrophobic, and forms an amphipathic structure, responsible for the emulsion (LUKONDEH et al., 2003). And it is due to these hydrophilic and hydrophobic portions of mannoproteins that they are able to reduce the surface and interfacial tension of immiscible compounds (BERTON et al., 2011), which may help in the processes of fixing oily residues by the active microorganisms present in the environment.

Because they are produced by different microbial species and under different culture conditions, biosurfactants have molecules with different chemical structures and specific properties, which should be considered at the time of their application. Therefrom, biosurfactants can be used in the oil industry for bioremediation of contaminated soils, cleaning of oil reservoirs and improved oil recovery. They are also applied in therapeutic treatments; hygiene products; formulation of cosmetics; in agriculture, in herbicide and pesticide formulation; in mining, in the ore flotation separation; in the food, paper, textile and ceramic industry (NITSCHKE and PASTORE, 2002).

Research activities and scientific publications on the subject are always increasing, focusing on understanding and optimizing the process of biosurfactant production by different microbial species in addition to the use of several low-cost renewable resources and the discovery of new producing strains (CLAUS and VAN BOGAERT, 2017).

4. CONCLUSION

According to the experimental conditions and based on the results, the strain *Kluyveromyces marxianus* (CCT - 3172) demonstrated potential for biosurfactant production. The results serve as a basis for the fermentation process optimization by using surface response methodology (SRM), excluding ammonium sulfate to eliminate its negative and significant effect ($p \leq 0.05$) in the process.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the Federal University of Technology of Paraná (UTFPR) for the financial support and physical structure.

REFERÊNCIAS

- ABREU, R. et al. Obtenção e caracterização de manoproteínas da parede celular de leveduras de descarte em cervejaria. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, 34 (1):77- 84, 2012.
- ABDEL-MAWGOUD, A. M.; ABOULWAFA, M. M.; HASSOUNA, N. A. H. Optimization of surfactin production by *Bacillus subtilis* isolate BS5. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, 3 (150): 305-325, 2008.
- ACCORSINI, F. R. et al. Biosurfactants production by yeasts using soybean oil and glycerol as low cost substrate. **Brazilian Journal of Microbiology**, 43: 116-125, 2012.
- AGUIAR, G. P. S. et al. Influência do Meio Mineral na Produção de Biosurfactantes. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, 7 (1): 115-119, 2015.
- ALMEIDA, D. G de et al. Utilização de planejamento experimental na produção de biosurfactante pela levedura *Candida tropicalis* a partir de resíduos industriais. p. 2686-2693. In: Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química - COBEQ 2014 [Blucher Chemical Engineering Proceedings, v.1, n.2]. São Paulo. 2014.
- ALMEIDA, D.de; BASTOS, C.G.; AMARAL, M.A.; MAGALHÃES, J.T. de; PARREIRA, A.G.; GONÇALVES, D.B.; CARVALHO, F.S.; SILVA, J.A. da and GRANJEIRO, P.A.; Métodos de Extração e Atividade Antimicrobiana do BiosurfactanteProduzido por *Bacillus subtilis*- atcc19659, p. 33-34. In: Anais da V Jornada Acadêmica Internacional de Bioquímica [Blucher Biochemistry Proceedings, v.1, n.1]. São Paulo: Blucher, 2014.
- AL-WAHAIBI, Y. et al. Biosurfactant production by *Bacillus subtilis* B30 and its application in enhancing oil recovery. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, 114: 324-333, 2014.
- AMARAL, P. F. F. et al. Production and characterization of a bioemulsifier from *Yarrowia lipolytica*. **Process Biochemistry**, 41: 1894-1898, 2006.
- AMÉZCUA-VEGA, C. et al. Effect of culture condition on fatty acids composition of a biosurfactant produced by *Candida ingens* and changes of surface tension of culture media. **Bioresource Technology**, 98: 237-240, 2007.
- BARROS, F. F. C.; QUADROS, C. P. de; PASTORE, G. M. Propriedades emulsificantes e estabilidade do biosurfactante produzido por *Bacillus subtilis* em manjueira. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 4 (28): 979-985, 2008.
- BARTH, G.; GAILLARDIN, C. Physiology and genetics of the dimorphic fungus *Yarrowia lipolytica*. **FEMS Microbiology Reviews**, 19: 219-237, 1997.
- BERTON, C.; GENOT, C.; ROPERS, M. H. Quantification of unadsorbed protein and surfactant emulsifiers in oil-in-water emulsions. **Journal of Colloid and Interface Science**, 354 (2): 739-748, 2011.
- BICCA, F. C.; FLECK, L. C.; AYUB, M. A. Z. Production of biosurfactant by hydrocarbon degrading *Rhodococcus ruber* and *Rhodococcus erythropolis*. **Revista de Microbiologia**, 30: 231-236, 1999.
- BUENO, G. F. et al. Evaluation of the pre-inoculum utilization in biosurfactant production by

solid state fermentation. **HOLOS Environment**, 11: 88-88, 2011.

CASAS, J. A.; GARCÍA-OCHOA, F. G. Sophorolipid production by *Candida bombicola*: Medium composition and culture methods. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, 88 (5): 488-494, 1999.

CAVALERO, D. A.; COOPER, D. G. The effect of medium composition on the structure and physical state of sophorolipids produced by *Candida bombicola* ATCC 22214. **Journal of Biotechnology**, 103: 31-41, 2003.

CLAUS, S.; VAN BOGAERT, I. N. A. Sophorolipid production by yeasts: a critical review of the literature and suggestions for future research. **Applied Microbiology Biotechnology**, 101: 7811–7821, 2017.

COLLA, L. M.; COSTA, J. A.V. Obtenção e aplicação de biossurfactantes. **Vetor**, 13: 85-103, 2003.

COOPER, D.G.; GOLDENBERG, B.G. Surface-Active agents from two *Bacillus* species. **Applied and environmental microbiology**, 53 (2): 224-229, 1987.

DAVEREY, A.; PAKSHIRAJAN, K. Sophorolipids from *Candida bombicola* using mixed hydrophilic substrates: Production, purification and characterization. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, 79: 246–253, 2010.

DECESARO, A. et al. Produção de biossurfactantes por microrganismos isolados de solo contaminado com óleo diesel. **Química Nova**, 36 (7): 947-954, 2013.

DE FRANÇA, I. W. L. de et al. Avaliação de substratos de baixo custo na produção de biossurfactantes do tipo lipopeptídeos. p. 2288-2295. In: Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química - COBEQ 2014 [Blucher Chemical Engineering Proceedings, v.1, n.2]. São Paulo, SP. 2014.

DIKIT, P. et al. Emulsifier properties of the mannanprotein extract from yeast isolated from sugar palm wine. **Science Asia**, 36: 312-318, 2010.

DOS SANTOS, R.H.Z. and JÚNIOR, A.E. Co-produção de biomassa e biossurfactantes de *Bacillus subtilis* reciclando alimentos, resíduos de biomassa e da síntese de biodiesel. In: XVI Encontro de Iniciação Científica e I Encontro de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. PUC-Campinas, SP. 2011.

FONTES, G. C.; AMARAL, P. F. F.; COELHO, M. A. Z. Produção de biossurfactante por levedura. **Química Nova**, 31 (8): 2091-2099, 2008.

FONTES, G. C. et al. Renewable resources for biosurfactant production by *Yarrowia lipolytica*. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, 29 (3): 483-493, 2012.

FREITAS, B. G. et al. Estudo das propriedades do biossurfactante formulado produzido por *Candida bombicola* utilizando resíduos de baixo custo. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, 1 (2): 2701-2708, 2015.

ASPARIN, F. G. M. et al. Produção de lipase e biossurfactante por isolado de efluente de laticínio. **BBR-Biochemistry and Biotechnology Reports**, 1 (1): 28, 2012.

GOUVEIA, E. R. et al. Bactérias Produtoras de Biossurfactantes. **Revista Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, (30): 39-45, 2003.

GUDIÑA, E. J. et al. Potential therapeutic applications of biosurfactants. **Trends in Pharmacological Sciences**, 34 (12): 667-675, 2013.

JIMÉNEZ-PEÑALVER, P. et al. Production of sophorolipids from winterization oil cake by solid-state fermentation: optimization, monitoring and effect of mixing. **Biochemical Engineering Journal**, 115: 93-100, 2016.

JIMÉNEZ-PEÑALVER, P. et al. Production and characterization of sophorolipids from stearic acid by solid-state fermentation, a cleaner alternative to chemical surfactants. **Journal of Cleaner Production**, 172: 2735-2747, 2018.

JOSHI, S.; YADAV, S.; DESAI, A. J. Application of response-surface methodology to evaluate the optimum medium components for the enhanced production of lichenysin by *Bacillus licheniformis* R2. **Biochemical Engineering Journal**, 41: 122-127, 2008.

KONISHI, M.; YOSHIDA, Y.; HORIUCHI, J. Efficient production of sophorolipids by *Starmerella bombicola* using a corncob hydrolysate medium. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, 119 (3): 317-322, 2015.

KURTZMAN, C.P. et al. Production of sophorolipid biosurfactants by multiple species of the *Starmerella (Candida) bombicola* yeast clade. **FEMS Microbiology Letters**, 311: 140-146, 2010.

LIU, Z. et al. Efficient sophorolipids production via a novel *in situ* separation technology by *Starmerella bombicola*. **Process Biochemistry**, 81: 1-10, 2019.

LUKONDEH, T., ASHBOLT, N. J.; ROGERS, P. L. Evaluation of *Kluyveromyces marxianus* FII510700 grown on a lactose-based medium as a source of a natural bioemulsifier. **Journal of Industrial Microbiology and biotechnology**, 30 (12): 715-720, 2003.

MEDEIROS, A. B. P. et al. Aroma compounds produced by *Kluyveromyces marxianus* in solid-state fermentation on a packed bed column bioreactor. **World Journal Microbiology & Biotechnology**, 17: 767-771, 2001.

MORAES, K. A. D. et al. Produção de biosurfactante por *Bacillus* sp. em meio mínimo contendo glucose. **Enciclopédia Biosfera**, 11 (22): 3084-3094, 2015.

NITSCHKE, M.; PASTORE, G. M. Biosurfactantes: propriedades e aplicações. **Química Nova**, 25 (5): 772-776, 2002.

NITSCHKE, M.; PASTORE, G. M. Avaliação de resíduos agroindustriais como substratos para a produção de biosurfatantes por *Bacillus*. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. 6 (31): 63-67, 2003.

PEREIRA-FILHO, E. R.; POPPI, R. J.; ARRUDA, M. A. Z. Emprego de planejamento fatorial para a otimização das temperaturas de pirólise e atomização de Al, Cd, Mo e Pb por ETAAS. **Química Nova**, 25 (2): 246-253, 2002.

PERALTA-ZAMORA, P., MORAES, J. L. de; NAGATA, N. Por que a atimização variada? **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 10 (2): 106-110, 2005.

RUFINO, R. D. et al. Characterization and properties of the biosurfactant produced by *Candida lipolytica* UCP 0988. **Electronic Journal of Biotechnology**, 17: 34-38, 2014.

RUFINO, R. D.; SARUBBO, L. A.; CAMPOS-TAKAKI, G. M. Enhancement of stability of biosurfactant produced by *Candida lipolytica* using industrial residue as substrate. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, 23: 729-734, 2007.

SARUBBO, L. A. et al. Bioemulsifier production in batch culture using glucose as carbon source by *Candida lipolytica*. **Applied Biochemistry Biotechnology**, 95: 59-67, 2001.

SOUZA, K. S. T. et al. New glycolipid biosurfactants produced by the yeast strain *Wickerhamomyces anomalus* CCMA 0358. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, 154: 373-382, 2017.

SHAH, M. U. H. et al. Production of sophorolipids by *Starmerella bombicola* yeast using new hydrophobic substrates. **Biochemical Engineering Journal**, 127: 60-67, 2017.

VAN BOGAERT, I. N. A. et al. Microbial production and application of sophorolipids. **Applied Microbiology and Biotechnology**, 76: 23-34, 2007.

ZHANG, J. et al. Production of lipopeptide biosurfactants by *Bacillus atrophaeus* 5-2a and their potential use in microbial enhanced oil recovery. **Microbial Cell Factories**, 15 (1): 168-179, 2016.

CAPÍTULO 14

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA EXTERNA NA GERAÇÃO DE ENERGIA POR CÉLULA COMBUSTÍVEL MICROBIOLÓGICA

Ricardo Pereira Branco

Graduando em Engenharia Bioquímica

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande

Endereço: Avenida Italia, s/n. Km 8 - Bairro Carreiros, Rio Grande – RS, Brasil

E-mail: ricardex.branco@hotmail.com

Patrick Laux

Graduando em Engenharia Química

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande

Endereço: Avenida Italia, s/n. Km 8 - Bairro Carreiros, Rio Grande – RS, Brasil

E-mail: patricklaux@hotmail.com

Liziane Nunes da Costa

Mestre em Engenharia Química

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande

Endereço: Avenida Italia, s/n. Km 8 - Bairro Carreiros, Rio Grande – RS, Brasil

E-mail: lizianenc@gmail.com

Taiana Denardi de Souza

Doutora em Engenharia e Ciência de Alimentos

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande

Endereço: Avenida Italia, s/n. Km 8 - Bairro Carreiros, Rio Grande – RS, Brasil

E-mail: tdenardisouza@gmail.com

Christiane Saraiva Ogrodowski

Professora Doutora em Engenharia Química

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande

Endereço: Avenida Italia, s/n. Km 8 - Bairro Carreiros, Rio Grande – RS, Brasil

E-mail: christiane.ogrodowski@gmail.com

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi estudar a influência da resistência externa na geração de energia a partir de uma célula combustível microbíologica (CCM) de câmara dupla inoculada com o sedimento do estuário da Lagoa dos Patos. A CCM foi confeccionada com placas de acrílico que constituem o compartimento anódico e catódico, ambos com volumes iguais a 1 L, separados por uma membrana catiônica e com a presença de uma placa de grafite como eletrodo do sistema. O compartimento anódico é alimentado com substrato CH_3COOH , mantido sob agitação constante, temperatura de 35 °C e pH 7,5. A voltagem gerada pelo sistema é medida por um microcontrolador Arduino, responsável pela aquisição e armazenamento dos dados. No startup foi utilizada uma resistência externa de 1000 Ω , que foi reduzida para 56 Ω após a curva de polarização e resultou na potência máxima no sistema de 335,32 mW/m². Assim, pode-se concluir que a CCM converte diretamente energia química

em eletricidade através do uso de bactérias exoeletrogênicas, o que a torna uma tecnologia promissora para ser usada como alternativa aos combustíveis fósseis na geração de energia, além de reduzir o impacto ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Sedimento de dragagem, matéria orgânica, eletricidade.

ABSTRACT: The objective of this work was to study the influence of external resistance on energy generation from a double chamber microbiological full cell (MFC) inoculated with the sediment of Patos Lagoon estuary. The MFC was build with acrylic plates that constitute the anodic and cathodic compartment, both with volumes equal to 1 L, separated by a cationic membrane and with the presence of a graphite plate as the system electrode. The anode compartment is fed with CH₃COOH substrate, kept under constant stirring, at 35 °C and pH

7.5. The voltage generated by the system is measured by an Arduino microcontroller, which is responsible for data acquisition and storage. In the startup of the experiment an external resistance of 1000 Ω was used, which was reduced to 56 Ω after the polarization curve and resulted the maximum power in the system of 335.32 mW/m². Thus, it can be concluded that MFC directly converts chemical energy into electricity through the use of exoelectrogenic bacteria, which makes it a promising technology to be used as an alternative to fossil fuels in power generation, as well as reducing environmental impact.

KEY WORDS: Dredging sediment, organic matter, electricity.

1. INTRODUÇÃO

Uma necessidade da sociedade atual é desenvolver tecnologias que, além de minimizar e substituir os combustíveis fósseis, reduzam o impacto ambiental. Assim, em busca de uma alternativa viável para suprir esses anseios, as células combustíveis microbiológicas (CCM) surgiram como uma promissora tecnologia que une a geração de eletricidade com o tratamento de efluentes (TELEKEN et al., 2017; WANG et al., 2013).

A CCM converte substratos orgânicos em eletricidade por intermédio da atividade metabólica dos microrganismos, podendo fazer uso de efluentes industriais e domésticos (RABAЕY e VERSTRAETE, 2005). A geração da bioenergia é semelhante ao funcionamento

de uma célula eletroquímica, que produz corrente contínua devido ao fluxo de elétrons que advém da reação de oxirredução (LOGAN, 2008).

De acordo com Logan (2008), os microrganismos responsáveis pela redução da matéria orgânica e a transferência de elétrons produzidos por seu metabolismo celular são denominados exoeletrogênicos. A presença destes microrganismos no compartimento anódico insolúvel possibilita à formação de um biofilme sobre o eletrodo, que permite a transferência de elétrons para fora de sua célula, diretamente para um material sólido (LOGAN e RABAЕY, 2013; TELEKEN et al., 2017).

Uma CCM pode utilizar substratos orgânicos complexos, incluindo águas residuais domésticas, industriais e agrícolas, como fonte de geração de energia (PANT et al., 2010). Assim, utilizar o material oriundo da dragagem do Porto de Rio Grande como matéria-prima para a geração de eletricidade e metabólitos passa a ser uma possibilidade promissora, levando em conta que uma grande quantidade de sedimento marinho é retirado a cada processo de dragagem e este resíduo possui alta carga de nutrientes, microrganismos e matéria-orgânica. Segundo Logan (2008), existe uma ampla variedade de configurações para a construção de uma CCM, sendo uma das formas mais utilizadas a de dois compartimentos (anódico e catódico) separados por uma membrana de permuta íons e seus eletrodos ligados a uma resistência externa, que gera influência na corrente elétrica de saída e na potência da CCM. Assim, buscando desenvolver novas tecnologias para a produção de energia elétrica utilizando uma fonte renovável, o objetivo deste trabalho foi estudar a influência da resistência externa na geração de energia a partir de uma célula combustível microbiológica de câmara dupla inoculada com o sedimento do estuário

da Lagoa dos Patos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CONTRUÇÃO E OPERAÇÃO DA CCM

A CCM foi confeccionada com placas de acrílico com um volume total de 2 L, sendo 1 L para o ânodo e 1 L para o cátodo. Estes compartimentos foram separados por uma membrana catiônica (CMI-7000S - Membranas International Inc.). O compartimento anódico permaneceu sob agitação constante de 500 rpm por meio de um impelidor. A CCM é mantida em câmara termostatizada a 35 °C e pH do compartimento anódico ajustado entre 6,8 e 7,5.

A CCM foi inoculada com sedimento do estuário da Lagoa dos Patos coletado na coordenada 31°58'25"S/52°02'24"O. O volume do compartimento anódico foi inoculado com 70% de sedimento e o restante com meio de cultivo composto por NaHCO₃ (2,5 g/L), CaCl₂.2H₂O (0,1 g/L), KCl (0,1 g/L), NH₄Cl (1,5 g/L), NaH₄PO₄.H₂O (0,6 g/L), Na₂HPO₄.12H₂O (1,87 g/L), NaCl (0,1 g/L), MgCl₂.6H₂O (0,1 g/L), MgSO₄.7H₂O (0,1 g/L), MnCl₂.4H₂O (0,005 g/L), NaMoO₄.2H₂O (0,001 g/L), extrato de levedura (0,05 g/L) e água destilada. Como fonte de energia e carbono, utiliza-se CH₃COOH na concentração de 10 g/L. O compartimento catódico do reator foi preenchido com uma solução de ferricianeto de potássio K₃Fe(CN)₆ 50 mM, constituindo o aceptor final de elétrons (DE SÁ et al., 2017).

O modo de alimentação do reator foi com reciclo total de células, sendo realizada diariamente para renovação do efluente anódico, de acordo com o seguinte procedimento: removeu-se 0,3 L do efluente do reator e assim, separou-se os sólidos em suspensão por centrifugação (modelo Hitachi CR22 GIII) a 18800 g; os sólidos precipitados foram ressuspensos em 0,3 L de meio de cultivo contendo fonte de carbono. Foi realizado o ajuste do pH dessa suspensão e alimentada ao reator.

2.2 DETERMINAÇÕES ELETROQUÍMICAS E TRATAMENTO DOS DADOS

Durante todo o período de realização do experimento, verificou-se a diferença de potencial elétrico (ddp) gerada pelo sistema por meio de um microcontrolador Arduino, a qual é calculada de acordo com a Equação 1.

$$V = R * I \quad (1)$$

Onde: V é a diferença de potencial elétrico medida em volt (V), R é a resistência elétrica em ohm (Ω) e I a corrente elétrica em ampére (A).

Após estabilização da diferença de potencial elétrico produzido no reator, realizou-se uma curva de polarização para determinar com qual resistência externa ela apresenta densidade de potência máxima, calculada através da Equação 2.

$$P = \frac{V \cdot I}{A} \quad (2)$$

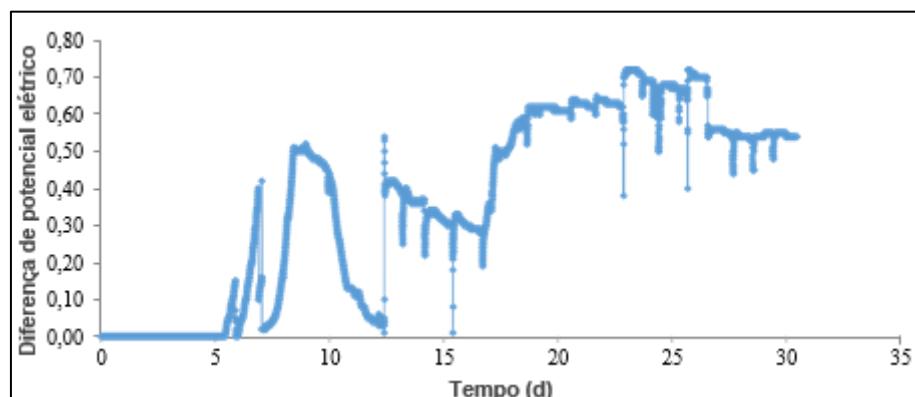
Onde: P é densidade de potência em W/m^2 , I a corrente elétrica em ampére (A) e A é a área do eletrodo anódico em metro quadrado (m^2).

Com a estabilização da voltagem produzida no reator, realizou-se uma curva de polarização para determinar qual resistência externa apresenta a densidade de potência máxima. Para a construção da curva de polarização na célula eletroquímica aplicou-se diferentes valores de resistores entre 10000 a 4,7 Ω e realizou-se a leitura da ddp gerada entre o ânodo e o cátodo para cada uma das resistências aplicadas. A representação da corrente elétrica em função da ddp é chamada de curva de polarização.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A CCM foi inoculada com sedimento marinho e após 6 dias do *start up*, nas condições estabelecidas, observou-se a primeira medida de ddp, porém sua estabilização levou 24 dias para ocorrer, conforme Figura 1, chegando a valores de ddp de 0,72 V, com resistência externa de 1000 Ω .

Figura 1: Diferença de Potencial Elétrico no período de estabilização da CCM.

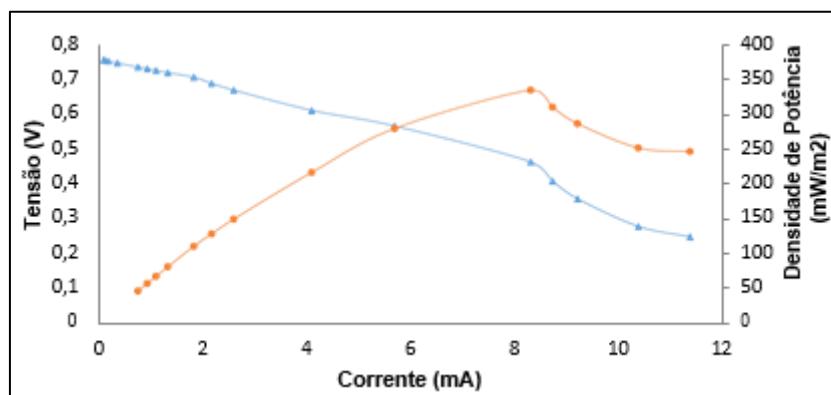


Fonte: Os autores.

Com a ddp estabilizada, realizou-se a curva de polarização com 27 dias de

experimento e determinou-se que a CCM atingiu a densidade de potência máxima de 128,44 mW/m² com a resistência externa de 150 Ω. Levando em consideração este resultado, reduziu-se a resistência externa do experimento de 1000 Ω para 150 Ω e obteve-se 237,45 mW/m² com 123 dias de experimento. Após a estabilização da ddp uma nova curva de polarização, realizada com 153 dias de experimento, apresentou maiores resultados de densidade de potência máxima de 335,32 mW/m² com resistência externa de 56 Ω, conforme apresentado na Figura 2. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Costa et al. (2019) onde relatam que a diminuição da resistência externa provoca um aumento da corrente gerada, o que influencia diretamente no desempenho da CCM.

Figura 2: Curva de Polarização em 153 dias de experimento da CCM.



Fonte: Os autores.

A Tabela 1 apresenta os principais dados de diferença de potencial elétrico e densidade de potência calculada no decorrer do experimento por 153 dias.

Tabela 1: Dados de diferença de potencial elétrico e densidade de potência durante o experimento com a célula combustível microbiológica.

	Resistência externa (Ω)	Tempo (Dias)	DDP (V)	P (mW/m ²)
<i>Start Up</i>	1000	1	0,00	0
Primeira medida	1000	6	0,01	0,87
Estabilização	1000	24	0,72	45,08
Curva de polarização 1	1000/150	27	0,47	128,44
Estabilização	150	123	0,64	237,45
Curva de polarização 2	150/150	153	0,61	217,27
Curva de polarização 2	150/56	153	0,46	335,32

Fonte: Os autores.

Observa-se na Tabela 1 que a diferença nos resultados de ddp não são expressivos quando modifica-se a resistência externa, porém a densidade de potência atingida é 7,44 vezes maior quando diminuiu-se a resistência externa de 1000 Ω para 56 Ω .

4. CONCLUSÃO

Com o aperfeiçoamento da célula combustível microbiológica, conclui-se que ela podem ser uma alternativa para os métodos tradicionais de produção de energia, já que converte diretamente energia química em eletricidade utilizando fontes renováveis, diminuindo assim o impacto ambiental. Considerando os resultados apresentados, a CCM com

volume de 2 L utilizando resistência externa de 56 Ω e sendo alimentada com reciclo total de células atingiu densidade de potência máxima de 335,32 mW/m².

REFERÊNCIAS

COSTA, L. N, BRANCO, R. P., SOUZA, T. D., OGRODOWSKI, C. S. Produção de Biocompostos a partir de Célula Combustível Microbiológica. **Brazilian Journal Development**, v. 5, p. 8544-8550, 2019.

DE SÁ et al. Anode air exposure during microbial fuel cell operation inoculated with marine sediment. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 5, p. 1821-1827, mar. 2017. LOGAN, B. E. **Microbial fuel cells**, Wiley-Interscience Microbial fuel cells. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2008.

LOGAN, B. E.; RABAHEY, K. Conversion of wastes into bioelectricity and chemicals by using microbial electrochemical technologies. **Science**, v. 337, p. 686 – 690, ago, 2013.

PANT et al, Review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 1533-1543, mar. 2010.

RABAHEY, K.; VERSTRAETE, W. Microbial fuel cells: novel biotechnology for energy generation. **Trends in Biotechnology**. n. 23, p. 291-298, jun. 2005.

TELEKEN et al. Mathematical Modeling of the Electric Current Generation in a Microbial Fuel Cell Inoculated with Marine Sediment. **Journal of Chemical Engineering**, v. 34, n. 01, p. 211-225, jan./mar. 2017.

WANG et al. Power production from different types of sewage sludge using microbial fuel cells: A comparative study with energetic and microbiological perspectives. **Journal of Power Sources**, v. 235, p. 280-288, ago. 2013.

TELEKEN et al. Mathematical Modeling of the Electric Current Generation in a Microbial Fuel Cell Inoculated with Marine Sediment. **Journal of Chemical Engineering**, v. 34, n. 01, p. 211-225, jan./mar. 2017.

WANG et al. Power production from different types of sewage sludge using microbial fuel cells: A comparative study with energetic and microbiological perspectives. **Journal of Power Sources**, v. 235, p. 280-288, ago. 2013.

CAPÍTULO 15

ESTUDO DA REAÇÃO FOTOCATALÍTICA NA DEGRADAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS EM EFLUENTE

Andressa Michaelsen

Mestre em Engenharia Química

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande

Endereço: Avenida Italia, s/n. Km 8 - Bairro Carreiros, Rio Grande – RS, Brasil

E-mail: andressamichaelsen.eng@gmail.com

Patrick Laux

Graduando em Engenharia Química

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande

Endereço: Avenida Italia, s/n. Km 8 - Bairro Carreiros, Rio Grande – RS, Brasil

E-mail: patricklaux@hotmail.com

Taiana Denardi de Souza

Doutora em Engenharia e Ciência de Alimentos

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande

Endereço: Avenida Italia, s/n. Km 8 - Bairro Carreiros, Rio Grande – RS, Brasil

E-mail: tdenardisouza@gmail.com

Christiane Saraiva Ogrodowski

Professora Doutora em Engenharia Química

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande

Endereço: Avenida Italia, s/n. Km 8 - Bairro Carreiros, Rio Grande – RS, Brasil

E-mail: christiane.ogrodowski@gmail.com

RESUMO: Os processos industriais geram grandes quantidades de águas residuais com complexidade cada vez maior. Para que estas sejam lançadas no meio ambiente, necessitam da remoção dos contaminantes. No processamento do petróleo, por exemplo, uma gama de componentes de difícil degradação é gerada. Entre estes, os fenóis vem despertando interesse na comunidade científica por serem classificados como poluentes orgânicos prioritários por sua toxicidade ao homem e a biota. O trabalho consiste em estudar as principais variáveis para a redução e/ou mineralização de compostos fenólicos através do tratamento químico. Com pH do efluente original (aproximadamente 7), 5 g L⁻¹ de areia (contendo TiO₂) e com 22 mg L⁻¹ do oxidante peróxido de hidrogênio o valor de degradação do teor total de fenol foi em torno de 90% em 60 minutos de reação. A quantificação de fenóis se deu através do método padrão direto da 4-aminoantipirina no comprimento de onda 510 nm em espectrofotômetro ultravioleta. As reações foram realizadas em reator com lâmpada UV-C germicida de 95 W.

PALAVRAS-CHAVE: Areia, catalisador, compostos orgânicos, efluente petroquímico.

ABSTRACT: The industrial processes generate large amounts of wastewater with increasing complexity. In order for these to be released into the environment, they require the removal of contaminants. In oil processing, for example, a range of difficult to degrade components is generated. Among these, phenols are arousing interest in the scientific community because they are classified as priority organic pollutants for their toxicity to humans and biota. The work consists in studying the main variables for the reduction and / or mineralization of phenolic compounds through chemical treatment. With pH of the original effluent (approximately 7), 5 g L-1 of sand (containing TiO₂) and with 22 mg L-1 of hydrogen peroxide oxidant the degradation value of the total phenol content was around 90% in 60 minutes of reaction. Phenols were quantified by the standard direct method of 4- aminoantipyrine at wavelength 510 nm in an ultraviolet spectrophotometer. The reactions were performed in a 95 W UV-C germicidal lamp reactor.

KEYWORDS: Sand, catalyst, organic compounds, petrochemical effluent.

1. INTRODUÇÃO

Os processos industriais, por exemplo, geram grandes quantidades de águas residuais que para serem lançadas ao ambiente necessitam da remoção dos contaminantes. Objetivando a preservação dos recursos naturais, da saúde humana, do equilíbrio dos ambientes aquáticos e ao cumprimento das normas vigentes, vários tipos de tratamento de efluentes são desenvolvidos e aperfeiçoados com a intenção de amenizar a poluição causada por esses compostos quando alastrados em corpos d'água receptores (EIROA et al., 2008).

O processamento do petróleo tem por urgência o enquadramento a essas normas ambientais. Dentre esses componentes provenientes de efluentes petroquímicos e de difícil degradação, destacam-se os compostos fenólicos (BEZZERRA, 2007). As substâncias contendo fenol são cancerígenas, mutagênicas e levam a defeitos teratogênicos, além de serem potencialmente tóxicas para os seres vivos. O fenol é considerado pela US-EPA (United States Environmental Protection Agency) um Poluente Orgânico Prioritário (POP) desde 1976 (KHAKSAR et al., 2017), sendo estabelecido pela Legislação Federal, um padrão de emissão direta ou indireta em corpo receptor no limite de 0,5 mg L⁻¹ (CONAMA nº 430/2011).

O método de tratamento biológico constitui um dos processos mais econômico de tratamento secundário de efluente hídrico (SANTIAGO, 1985). Contudo, o tratamento biológico de resíduos petroquímicos é bem mais complexo do que o tratamento de resíduos domésticos e outros resíduos industriais. Apesar de bactérias adaptadas apresentarem boa capacidade de biodegradação de compostos fenólicos, eles têm um efeito inibitório do crescimento celular. Quando em elevada concentração acarreta uma diminuição drástica na capacidade de degradação da biomassa (BEZZERRA, 2007).

Neste contexto surgem os Processos Oxidativos Avançados (POAs) que consistem em oxidar grande variedade de compostos orgânicos complexos, transformando-os em produtos de mais fácil degradação por via biológica (FERREIRA, 2005). Os POAs podem ser reações do tipo homogênea ou heterogênea, dependendo do estado físico do catalisador da reação. Nas últimas décadas, esse tratamento, com relação ao fenol, foi considerado por muitos pesquisadores e desenvolvedores de plantas de tratamento muito eficiente, pois se destaca por sua alta capacidade destrutiva de moléculas orgânicas, pela formação de compostos

intermediários de menor toxicidade ou pela completa mineralização com formação de dióxido de carbono, água e íons inorgânicos (KHAKSAR et al., 2017).

O objetivo deste trabalho foi estudar a fotodegradação como pré-tratamento de efluente petroquímico para a redução de compostos fenólicos ou completa mineralização destes e avaliar a influência das variáveis pH, areia com TiO₂ (catalisador natural) e H₂O₂ 30% P/V como oxidante nesta reação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 COLETA DO EFLUENTE PETROQUÍMICO

As amostras de efluente foram coletadas na saída do Flotador a Ar Dissolvido (FAD) da Refinaria de Petróleo Riograndense (Rio Grande/RS) demonstrado na Figura 1. As amostras foram armazenadas em frasco âmbar sob refrigeração a 4°C, por aproximadamente dois meses.

Figura 1 – Flotador a Ar Dissolvido da Refinaria de Petróleo Riograndense.



Fonte: Os autores.

As características dos efluentes podem variar dependendo do tipo de processamento do óleo, configuração da planta ou procedimentos operacionais (VARJANI, 2014). Os dados referentes à caracterização do efluente foram fornecidos pela Refinaria de Petróleo Riograndense, média dos dados referentes ao último trimestre de 2018, podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1: Caracterização físico-química do efluente na saída do FAD.

Composição físico-química	Concentração média \pm desvio médio*
DQO	$390,12 \pm 63,67 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$
Fenol	$12,59 \pm 2,58 \text{ mg L}^{-1}$
Nitrato	$0,21 \pm 0,94 \text{ mg L}^{-1}$
Nitrito	$0,0011 \pm 0,0009 \text{ mg L}^{-1}$
Nitrogênio Amoniacal	$13,58 \pm 2,57 \text{ mg L}^{-1}$
Óleos e Graxas Minerais	$0,3 \pm 0,06 \text{ mg L}^{-1}$
Surfactantes	$0,43 \pm 0,11 \text{ mg L}^{-1}$
pH	$7,38 \pm 0,51$

Fonte: Os autores.

*média dos dados referentes ao período de 09/2018 a 01/2019.

2.2 REAÇÃO FOTOCATALÍTICA

Foram realizadas reações de fotodegradação homogêneas e heterogêneas com a finalidade de estabelecer a melhor condição para a degradação dos fenóis. Assim, foi elaborado um planejamento experimental a fim de avaliar a influência das variáveis independentes: concentração de catalisador (heterogêneo), concentração de oxidante (homogêneo) e pH da amostra. Para definir a melhor condição do processo de fotocatálise, foi realizado um planejamento fatorial 2^3 com três pontos centrais. Foi avaliada a influência das variáveis independentes, na variável dependente degradação total de fenol (%), totalizando 11 ensaios. A Tabela 2 apresenta a matriz do planejamento experimental.

Tabela 2: Matriz do planejamento experimental com variáveis codificadas e reais.

Ensaio	Concentração de areia (g L ⁻¹)	Concentração de oxidante (mg L ⁻¹)	pH
1	-1 (0)	-1 (0)	-1(4)
2	+1 (10)	-1 (0)	-1(4)
3	-1 (0)	+1 (44)	-1(4)
4	+1 (10)	+1 (44)	-1(4)
5	-1 (0)	-1 (0)	+1 (10)
6	+1 (10)	-1 (0)	+1 (10)
7	-1 (0)	+1 (44)	+1 (10)
8	+1 (10)	+1 (44)	+1 (10)
9	0 (5)	0 (22)	0 (7)
10	0 (5)	0 (22)	0 (7)
11	0 (5)	0 (22)	0 (7)

Fonte: Os autores.

Os ensaios foram conduzidos por 60 minutos em reator com lâmpada UV-C 95 W para cada ensaio do planejamento. O catalisador utilizado foi areia natural com TiO₂, o oxidante empregado foi o H₂O₂ 30% P/V. Após as amostras foram preparadas para quantificação do teor total de fenol pelo método colorimétrico da 4-aminoantipirina, descrito em APHA (2012). A degradação pode ser calculada segundo a Equação 1.

$$D = 100 - [(C_{am} * 100) / C_b] \quad (1)$$

Em que:

D: degradação de fenol total (%)

C_{am}: concentração de fenol total na amostra após reação (mg L⁻¹)

C_b: concentração de fenol total no efluente bruto (mg L⁻¹)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliou-se através do planejamento experimental fatorial com triplicata do ponto central, a influência das variáveis independentes: concentração de areia, concentração de H₂O₂ e pH, no teor total de fenol contido no efluente (variável dependente). A Tabela 3 apresenta o planejamento 2³ com 3 pontos centrais e os respectivos resultados.

Tabela 3: Resultados dos ensaios do planejamento em degradação total de fenol em relação ao efluente bruto.

Ensaios	Concentração de areia (g L ⁻¹)	Concentração de pH H ₂ O ₂ (mg L ⁻¹)	Degradação (%)
1	0	0	53,9
2	10	0	51,1
3	0	44	92,5
4	10	44	92,3
5	0	0	52,0
6	10	0	44,1
7	0	44	76,5
8	10	44	90,0
9	5	22	88,3
10	5	22	89,8
11	5	22	90,8

Fonte: Os autores.

O tratamento dos dados foi realizado por análise estatística. A Tabela 4 mostra os resultados desta análise e a variável independente que apresenta efeito significativo estatisticamente ao nível de significância de 95% na fotodegradação é a concentração de H₂O₂.

Tabela 4: Efeitos estimados das variáveis e parâmetros da análise estatística com índice de determinação (R^2) de 0,99.

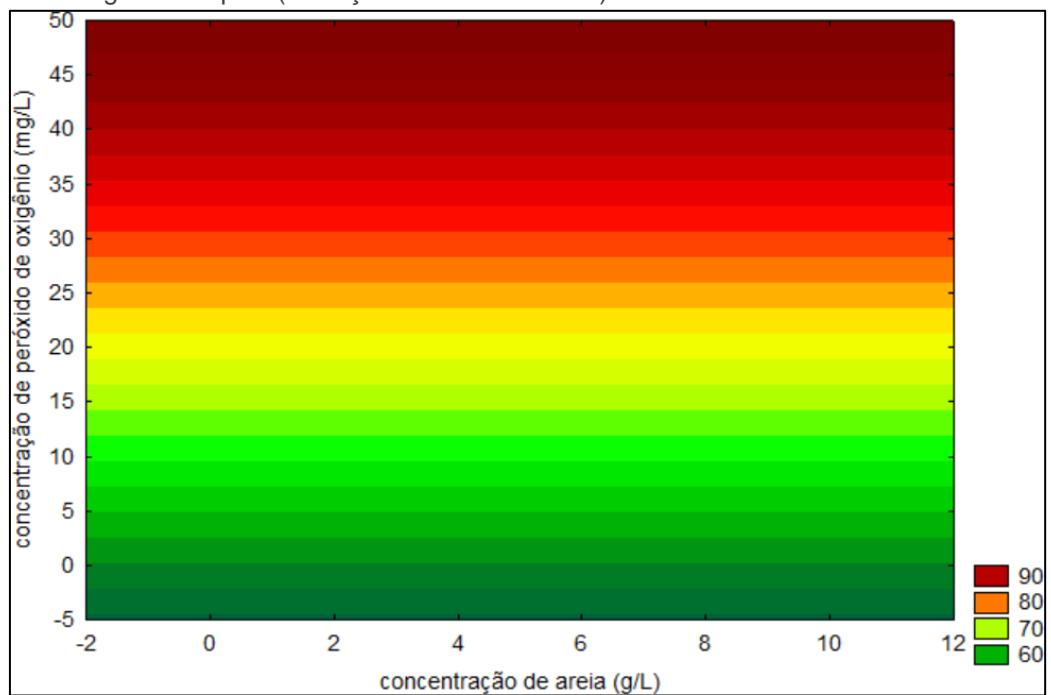
Interação	Efeito estimado	Erro padrão	t- student	p	Nível de significância (-95%)	Nível de significância (+95%)
(1) Concentração de catalisador (g L ⁻¹) (L)	0,64	11,05	0,06	0,96	-30,04	31,33
(2) Concentração de H ₂ O ₂ (mg L ⁻¹) (L)*	37,54	11,05	3,39	0,03	6,85	68,22
(3) pH (L)	-6,83	11,05	-0,62	0,57	-37,52	23,85
1L x 2L	5,99	11,05	0,54	0,62	-24,70	36,67
1L x 3L	2,13	11,05	0,19	0,86	-28,56	32,81
2L x 3L	-2,37	11,05	-0,21	0,84	-33,05	28,32

Fonte: Os autores.

*Efeito significativo p < 0,05.

A análise do gráfico de perfil de resposta (Figura 2) em pH 7 mostra que entre as concentrações de areia estudadas ($0 - 10 \text{ g L}^{-1}$) e as de H_2O_2 ($0 - 44 \text{ mg L}^{-1}$) a melhor condição de degradação de fenol ocorreu na maior concentração de H_2O_2 (44 mg L^{-1}).

Figura 2: Perfil de resposta da análise das variáveis concentração de areia e concentração de peróxido de hidrogênio em pH7 (condição do efluente bruto).



Fonte: Os autores.

Com base no planejamento experimental a concentração de areia não apresentou influência significativa no tempo avaliado, porém é essa variável que determina a abundância de sítios ativos livres na superfície do catalisador, TiO_2 , e a geração de radicais hidroxilas (WANG et al., 2009). Uma quantidade elevada de areia no sistema, pode gerar turbidez dificultando a passagem da luz para ativação dos sítios. O H_2O_2 utilizado como oxidante aumenta a concentração inicial de radicais hidroxilas, diferente do catalisador sólido que necessita da incidência da luz UV para a ativação dos sítios e posterior geração de radicais hidroxilas na superfície (SAGGIORO, 2014). Também foi possível notar que o pH na faixa estudada não tem efeito significativo, podendo se optar pelo uso do efluente na condição original, evitando uma etapa de acidificação ou alcalinização.

4. CONCLUSÃO

As reações fotocatalíticas se apresentaram adequadas para degradação dos compostos fenólicos presentes em efluentes petroquímicos, sendo essas reações uma alternativa a ser empregada como pré-tratamento ao tratamento biológico convencional.

Na condição do efluente bruto a pH 7; 5 g L⁻¹ de areia e 22 mg L⁻¹ de H₂O₂ 30% P/V atingiu- se a degradação de 89,6 % ($\pm 0,9$) do teor total de fenol quantificado em 60 minutos de reação e sem necessidade de etapas de acidificação ou alcalinização. Assim, o processo de fotodegradação se mostrou rápido e eficiente nas condições empregadas.

REFERÊNCIAS

- APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Standard Methods, 2012.
- BEZERRA, Márcio S. Caracterização e Adaptação de Efluentes de Refinaria de Petróleo em Sistemas de Lodos Ativados. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal/RN, 2007.
- EIROA, M. et al. Effect of phenol on the biological treatment of wastewaters from a resin producing industry. *Bioresource Technology* 99, p. 3507–3512, 2008.
- FERREIRA, I.; DANIEL, L. A. Fotocatálise Heterogênea com TiO₂ aplicada ao tratamento de esgoto sanitário secundário. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos/SP, 2005.
- KHAKSAR, Amir et al. Treatment of phenol in petrochemical wastewater considering turbidity factor by backlight cascade photocatalytic reactor. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 348, p. 161–167, 2017.
- SAGGIORO, Enrico. **Efeito do dióxido de titânio na decomposição photocatalítica de substâncias persistentes no ambiente: corantes têxteis e interferentes endócrinos.** Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro, 2014.
- SANTIAGO, V. M. Tratamento biológico em efluente de refinaria. Estudo em escala piloto. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 30p, Maceió, 1985.
- VARJANI, S.; THAKER, M.; UPASANI, V. Optimization of growth conditions of native hydrocarbon utilizing bacterial consortium “HUBC ” obtained from petroleum pollutant contaminated sites. *Indian J. Appl. Res.*, v. 4, n. 10, p. 474-476, 2014.
- WANG, Y. HUANG, Y., HO, W., ZHANG, L., ZOU, Z., LEE, S. Biomolecule-controlled hydrothermal synthesis of C–N–S-tridoped TiO₂ nanocrystalline photocatalysts for NO removal under simulated solar light irradiation. *Journal of Hazardous materials*, v. 169, n. 1, p. 77-87, 2009.

CAPÍTULO 16

AVALIAÇÃO DE PREDIÇÃO DO DESEMPENHO DE MISTURAS ASFÁLTICAS POR MEIO DA CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICAS DOS LIGANTES ASFÁLTICOS

Yuri Mello Müller de Oliveira

Mestrando em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina

Endereço: Rua João Pio Duarte da Silva, 205 Bairro Córrego Grande

Florianópolis - SC - Brasil CEP 88040-900

E-mail: yurimello@hotmail.com

Liseane Padilha Thives

Doutora em engenharia Civil e professora do departamento de engenharia Civil

Instituição: UFSC

E-mail: liseanethives@gmail.com

Gabriela Ceccon Carlesso

Mestre em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina

E-mail: gabriela.carlesso@gmail.com

Allan Monteiro Silva

Mestre em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina

E-mail: allan.monteiro@hotmail.com

RESUMO: No Brasil, 95% dos pavimentos das rodovias são constituídos por pavimentos flexíveis. Em geral são empregadas misturas asfálticas, com o uso de asfaltos convencionais. Os asfaltos convencionais têm atendido adequadamente às solicitações mecânicas para volumes de tráfego moderado. No entanto, devido ao aumento da carga e volume de tráfego pesado nas rodovias brasileiras, defeitos como fadiga e deformação permanente têm ocorrido de forma precoce. Neste sentido, o uso de asfaltos modificados surge como uma alternativa viável. O objetivo deste artigo é avaliar a previsão do desempenho de asfaltos modificados por meio da reologia. Foram testados três asfaltos modificados e um asfalto convencional quanto à fadiga e à deformação permanente. O desempenho reológico dos asfaltos com borracha de pneus inservíveis, com nano argila e estireno-butadieno-estireno (SBS) e Highly Modified Asphalt (HiMA) foram comparados ao de um convencional 50/70, classificado por penetração. Os ensaios reológicos foram realizados no reômetro de cisalhamento dinâmico para determinação dos parâmetros módulo complexo de cisalhamento (G^*) e o ângulo de fase (δ), utilizados para previsão do comportamento mecânico. Os resultados obtidos foram comparados com o desempenho mecânico de misturas asfálticas produzidas com esses asfaltos. Como resultado, foi possível prever o desempenho mecânico da mistura, a partir da caracterização reológica do asfalto. Foi verificado que o uso de asfaltos modificados aumenta o desempenho das misturas.

asfálticas em relação à fadiga e à deformação permanente. A previsão de comportamento por meio da reologia representa uma ferramenta viável para previsão do desempenho de misturas asfálticas e pode contribuir para melhoria dos pavimentos asfálticos das rodovias brasileiras.

PALAVRAS-CHAVE: Reologia. Asfaltos modificados. Fadiga. Deformação permanente.

ABSTRACT: In Brazil, 95% of road pavements are made up of flexible pavements. In general, asphalt mixtures are used, with the use of conventional asphalt. Conventional asphalts have adequately met mechanical demands for moderate traffic volumes. However, due to the increased load and volume of heavy traffic on Brazilian highways, defects such as fatigue and permanent deformation have occurred at an early stage. In this sense, the use of modified asphalt is a viable alternative. The purpose of this article is to evaluate the prediction of the performance of modified asphalt using rheology. Three modified asphalt and one conventional asphalt were tested for fatigue and permanent deformation. The rheological performance of asphalt rubber with waste tires, with nano clay and styrene-butadiene-styrene (SBS) and Highly Modified Asphalt (HiMA) were compared to a conventional 50/70, classified by penetration. The rheological tests were performed on the dynamic shear rheometer to determine the complex shear modulus parameters (G^*) and the phase angle (δ), used to predict the mechanical behavior. The results obtained were compared with the mechanical performance of asphalt mixtures produced with these asphalt. As a result, it was possible to predict the mechanical performance of the mixture, from the rheological characterization of the asphalt. It was found that the use of modified asphalt increases the performance of the asphalt mixes in relation to fatigue and permanent deformation. Predicting behavior through rheology represents a viable tool for predicting the performance of asphalt mixtures and can contribute to the improvement of asphalt pavements on Brazilian highways.

KEYWORDS: Rheology. Modified asphalt. Fatigue. Permanent deformation.

1. INTRODUÇÃO

O transporte brasileiro é essencialmente apoiado no modelo rodoviário, representando 61% das cargas transportadas no país (CNT, 2019). Assim sendo, o sistema viário é o mais importante para o escoamento de mercadorias e transporte de pessoas pelo do país. Para assegurar o deslocamento adequado de mercadorias e da população em termos de manutenção de veículos e de boa trafegabilidade, se faz necessário o emprego de pavimentos de qualidade.

Os pavimentos das rodovias brasileiras são predominantemente do tipo flexível (95%), cujo revestimento asfáltico mais empregado é em misturas asfálticas com asfaltos convencionais. No entanto, devido ao aumento da carga e o volume de tráfego associado às elevadas temperaturas que predominam no país, defeitos como fadiga e deformação permanente aparecem de forma precoce. Neste sentido, os pavimentos não têm atingido a vida útil de projeto.

A deformação permanente é caracterizada por afundamentos na camada asfáltica de rolamento decorrentes da passagem dos rodados de veículos, sendo comumente designada por trilha de roda (Chowdhury et al., 2001). Por outro lado, a fadiga se manifesta através de trincas que afloram à superfície do pavimento. Estas trincas se originam na base da camada do revestimento asfáltico, inicialmente como microfissuras, devido à concentração de tensões de tração, as quais são advindas da flexão do pavimento causadas pelos carregamentos resultantes do tráfego atuante (Brown et al., 2001).

Devido ao desempenho mecânico inferior dos asfaltos convencionais frente ao requerido para o tráfego pesado, o uso de asfaltos modificados têm-se mostrado como uma alternativa viável.

O emprego de modificadores do asfalto melhora o desempenho mecânico e prolonga a vida de serviço dos revestimentos. O asfalto modificado mais empregado no Brasil é o asfalto borracha. Uma vez incorporada ao asfalto, a borracha de pneu governa as suas propriedades mecânicas incrementando seu desempenho frente à deformação permanente e ao fenômeno da fadiga (CALTRANS, 2007).

Os testes de caracterização dos asfaltos prescritos em normativas brasileiras são convencionais, como por exemplo, penetração, ponto de amolecimento e viscosidade. No entanto, estes testes não estão relacionados com as propriedades de desempenho das misturas asfálticas como fadiga e deformação permanente. Por

outro lado, o estudo do comportamento reológico dos asfaltos fornece parâmetros de avaliação de forma a prever seu desempenho mecânico.

Por meio de testes reológicos é possível a obtenção do módulo complexo (representação da rigidez do material), e do ângulo de fase (indicador de potencial resiliente do material). Os testes avaliam as propriedades do ligante no domínio de frequência, intensidade e tempo de carregamento, bem seu comportamento em função da variação com a temperatura, ou seja, a suscetibilidade térmica. Tendo em vista o comportamento viscoelástico dos asfaltos, a abordagem reológica para a caracterização de suas propriedades e comportamento se demonstra promissora (Lima et al., 2004; Krishnan e Rajagopal, 2004).

Os ensaios de caracterização reológica agrupados na pesquisa SUPERPAVE® (*Superior Performing Asphalt Pavements*) são preconizados pela metodologia norte-americana ASTM D7175 (ASTM, 2008).

Este trabalho tem como objetivo avaliar parâmetros reológicos de asfaltos modificados para predição do comportamento quanto à fadiga e à deformação permanente de misturas asfálticas. Foram analisados três tipos de asfaltos modificados, sendo, asfalto borracha; nano argila com SBS e HiMA. Os resultados foram comparados ao desempenho de um asfalto convencional brasileiro tipo 50/70, classificado por penetração. Os ensaios reológicos foram realizados no reômetro de cisalhamento dinâmico para determinação dos parâmetros módulo complexo de cisalhamento (G^*) e o ângulo de fase (δ), utilizados para previsão do comportamento mecânico.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O asfalto é um dos componentes da mistura asfáltica usada em camadas de revestimento e de ligação em pavimentos flexíveis. No Brasil o asfalto convencional é denominado Cimento Asfáltico do Petróleo (CAP), cuja especificação é por penetração de acordo com a normativa DNIT 095/2006 – EM (BRASIL, 2006). O principal componente do asfalto é o betume, que é uma mistura complexa de hidrocarbonetos advindos do petróleo de modo natural ou por processo de destilação, e por outros materiais (Bernucci et al., 2008).

O asfalto é empregado na produção de misturas asfálticas devido sua grande versatilidade e adesividade ao agregado, proporcionando flexibilidade controlável,

durabilidade. Ainda atua como impermeabilizante e pouco reativo (Bernucci et al., 2008).

Uma das principais propriedades que influencia o comportamento do asfalto é sua dependência da temperatura, denominada de suscetibilidade térmica. As propriedades suas mecânicas alternam entre estado semissólido a temperaturas baixas e estado líquido a temperaturas altas. Contudo, o asfalto quando em temperaturas intermediárias, comporta-se, simultaneamente, com características de um material semissólido e líquido, apresentando comportamento viscoelastoplástico (Bernucci et al., 2008; Fontes, 2009).

Os asfaltos convencionais atendem adequadamente a moderados volumes de tráfego. No entanto, quando se trata de um tráfego pesado de grande volume crescente, esses ligantes não mais resistem de modo eficiente em termos de custo-benefício e resistência mecânica. Como consequência, se faz necessário o emprego de polímeros modificadores que melhora suas as propriedades mecânicas.

Os ligantes modificados têm por finalidade a redução do aparecimento de degradações prematuras nos revestimentos, como exemplo, asfalto borracha, asfalto nanomodificado, asfalto morno ou asfalto com polímeros diversos (EVA – Etileno-Aacetato de Vinila; SBS – Estireno-Butadieno-Estireno; SBR – Borracha de Butadieno Estireno).

A incorporação de borracha de pneus usados no betume para produção de misturas betuminosas, além de melhorar o seu desempenho, contribui também para o destino final adequado de um resíduo sólido, o pneu. De acordo com Amirkhanian (2001), cada tonelada de mistura asfáltica com asfalto borracha permite a incorporação de dois a seis pneus inservíveis.

O asfalto modificado de nano argila com SBS não é vendido comercialmente. Carlesso (2017) produziu uma mistura de asfalto convencional com 3% de nanoargila organofílica e 2% de polímero SBS. Segundo Carlesso (2017) adição de um polímero elastomérico, além da adição do nanomaterial, tem como objetivo conferir recuperação elástica ao ligante nanomodificado e consequentes melhorias no desempenho mecânico das misturas asfálticas.

O *Highly Modified Asphalt* (HiMA) é uma modificação de um ligante asfáltico convencional com elevado teor de SBS. A elevada concentração desse polímero (teores de 7 a 8%), confere ao ligante asfáltico um maior desempenho em relação a

outros modificadores (Kraton, 2012).

O elevado teor de polímero na matriz asfáltica promove o desenvolvimento de uma rede polimérica contínua atuando no ligante como um reforço elástico. Esta rede tende à reduzir a propagação de fendas pelo e melhoria do desempenho mecânico quanto à fadiga e deformação permanente. Por outro lado, menores teores de polímero desenvolvem redes poliméricas descontínuas, possibilitando a existência de pontos fracos que permitem o avanço de fissuras. Entretanto, a adição de polímeros convencionais no ligante asfáltico em quantidade expressiva pode ocasionar problemas de estabilidade durante o armazenamento e transporte do ligante modificado. Ainda, este ligante necessita de temperaturas elevadas durante os processos de usinagem e compactação da mistura asfáltica (błażejowski et al. 2015).

Além da dependência da temperatura, as pesquisas desenvolvidas no âmbito do Programa *Strategic Highway Research Program* (SHRP), agrupados e patenteados sob denominação SUPERPAVE (*Superior Performing Asphalt Pavements*) incorporaram novos testes para caracterização dos asfaltos (SHRP, 1994).

O SUPERPAVE introduziu testes de caracterização reológica de modo a determinar a influência dos ligantes asfálticos durante o processo de usinagem, compactação e vida em serviço das misturas asfálticas com eles produzidas (SHRP, 1994).

Reologia é a parte da física que investiga as propriedades e o comportamento mecânico de corpos que sofrem uma deformação (sólidos elásticos) ou um escoamento (fluído-líquido ou gás) devido à ação de uma tensão de cisalhamento (Machado, 2002). Muitos sistemas, principalmente os de natureza coloidal, apresentam um comportamento intermediário entre esses dois extremos, apresentando tanto características viscosas como elásticas. Esses materiais são chamados de viscoelásticos, cujos ligantes asfálticos se comportam desta forma (Coutinho et al., 2004).

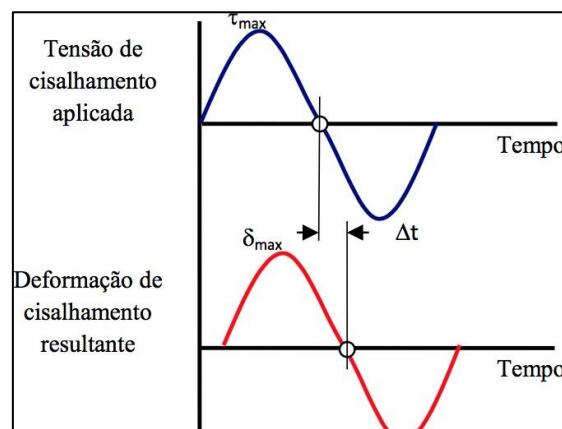
Neste caso, em altas temperaturas, o ligante se comporta como um fluido viscoso e a baixas temperaturas como um sólido elástico. No entanto, em temperaturas intermediárias, as quais o ligante está submetido em campo, o comportamento é viscoelástico. O ligante ideal seria aquele que apresentasse características viscosas quando da aplicação da carga e características elásticas quando da remoção do carregamento (Fontes, 2009; Wang et al., 2012).

A caracterização das propriedades viscoelásticas de materiais como os ligantes tem sido feita por intermédio de ensaios de reometria, conduzidos em reômetros de cisalhamento dinâmico. Por meio da reometria é possível medir o módulo complexo (G^*) e o ângulo de fase (δ), submetendo-se uma amostra a tensões de cisalhamento em determinadas temperaturas e variáveis níveis de frequência (KIM,2009).

G^* e δ são medidos no equipamento reômetro de cisalhamento dinâmico (*Dynamic Shear Rheometer – DSR*). O equipamento é composto de duas placas paralelas, sendo uma fixa e outra oscilante. A amostra de ligante é colocada entre as placas (Figura 5) e submetida a esforços de cisalhamento com frequência estabelecida para o ensaio, usualmente de 1,59Hz. A caracterização do comportamento viscoso e elástico, ou seja, a medida do módulo complexo (G^*) e do ângulo de fase (δ) é realizada em diversas temperaturas de serviço. Outros parâmetros reológicos são igualmente medidos.

Por consistir em um material viscoelástico, ao se aplicar uma tensão cisalhante em uma amostra de asfalto, a resposta, ou seja, a deformação resultante está defasada por certo intervalo de tempo (Δt), medido por meio do ângulo de fase (δ), em graus (Figura 1) .

Figura 1: Tensão de cisalhamento aplicada e deformação resultante.



Fonte: Os autores, 2009.

O ângulo de fase (δ) é um indicador da quantidade relativa de deformação recuperável e não recuperável e das propriedades elásticas e viscosas do material. Para materiais completamente elásticos não existe atraso entre a tensão de cisalhamento aplicada e a deformação obtida (é igual a 0^0). Analogamente, para materiais totalmente viscosos, a deformação obtida está completamente defasada,

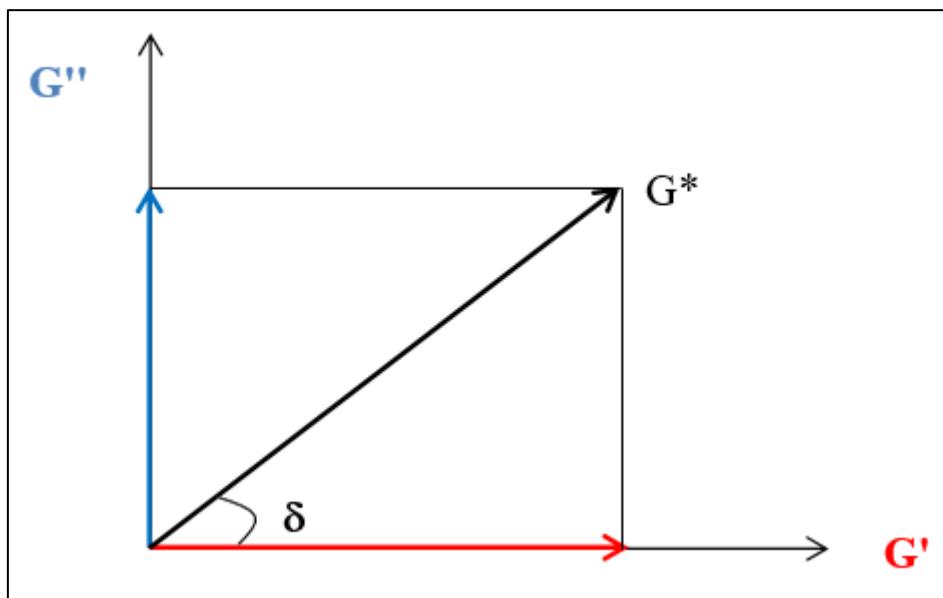
assim, é igual a 90º (Os autores, 2009).

O módulo complexo (G^*) é a medida da resistência total do material à deformação quando exposta a pulsos repetidos de tensões de cisalhamento. G^* representa a rigidez do material e apresenta uma componente elástica (recuperável) e outra componente viscosa (não recuperável). A Equação 1 mostra o módulo complexo (G^*) e suas componentes, cuja relação deriva da representação, em um plano cartesiano, do módulo de armazenamento (G') no eixo das abscissas e do módulo de perda (G'') no eixo das ordenadas (Figura 2), (SHRP, 1994).

$$G^* = \frac{\tau_{\max}}{\varepsilon_{\max}} \quad (1)$$

Em que G^* é o módulo complexo de cisalhamento; τ_{\max} é a tensão de cisalhamento máxima aplicada; ε_{\max} é a deformação de cisalhamento máxima resultante.

Figura 2: Representação do módulo complexo de cisalhamento e suas componentes.



Fonte: Os autores, 2009.

Desta forma, a partir da Figura 2, as componentes são calculadas por meio Equações 1 e 2 (SHRP, 1994).

$$G' = |G^*| \times \text{sen} \delta \quad (1)$$

$$G'' = |G^*| \times \cos \delta \quad (2)$$

Em que: G^* é o módulo complexo de cisalhamento (MPa); δ é o ângulo de fase (*); G' é o módulo de armazenamento (MPa) e G'' é o módulo de perda (MPa).

O programa SHRP estabeleceu parâmetros de previsão de comportamento dos asfaltos em relação à fadiga e à deformação permanente através dos parâmetros reológicos. O controle da rigidez a elevadas temperaturas pode assegurar que o ligante forneça a resistência ao cisalhamento global da mistura asfáltica, em termos de elasticidade a altas temperaturas, e o controle da rigidez a temperaturas intermediárias deve garantir que o ligante não contribua para o trincamento por fadiga (SHRP, 1994; Kim, 2009).

O SHRP estabeleceu os seguintes parâmetros de controle, cuja especificação é dada pela normativa ASTM D 6373-15 (ASTM, 2015):

$G^*/ \text{sen} \delta$ previsão quanto à deformação permanente;

$G^* \text{ sen} \delta$ previsão quanto à fadiga.

O valor limite de $G^*/ \text{sen} \delta$ para o ligante não envelhecido segundo a ASTMD 6373 – 15 é de 1kPa para as condições de ensaios estabelecidas pela ASTM 7175 – 08. Para o $G^* \text{ sen} \delta$ o valor limite é estabelecido apenas para o ligante envelhecido com o *Pressure Aging Vessel Residue* (PAV), sendo esse com um valor máximo de 5000 kPa.

A fadiga é um fenômeno que ocorre nos revestimentos asfálticos procedente da ação de cargas cíclicas provenientes do tráfego de veículos atuante sobre o pavimento. Este carregamento cíclico pode ser descrito como do tipo senoidal (pulso de carga), produzindo danos (trincas) intermitentes no revestimento. Assim, a fadiga é um processo de mudança estrutural, no qual devido a tensões de tração oriundas da flexão do pavimento, se inicia a formação de microfissuras localizadas na parte inferior da camada de revestimento, acompanhada da propagação das mesmas e sua evolução para forma de trincas (Gossain et al., 2005; Pellinen et al., 2004).

A mensuração da degradação admissível do revestimento decorrente da fadiga é expressa pela vida de fadiga, a qual é o número de ciclos de carregamentos (N) necessários para levar o revestimento à ruína por fadiga (Bodin et al., 2002).

A deformação permanente se caracteriza pelo afundamento gradual da superfície do revestimento asfáltico devido ao aumento dos ciclos de carregamento oriundos do tráfego, originando trilhas de roda ao longo do eixo longitudinal da estrada (SOUSA, 1991).

A resistência à fadiga e à deformação permanente de misturas asfálticas são avaliadas em laboratório através de ensaios.

3. MATERIAIS E MÉTODO

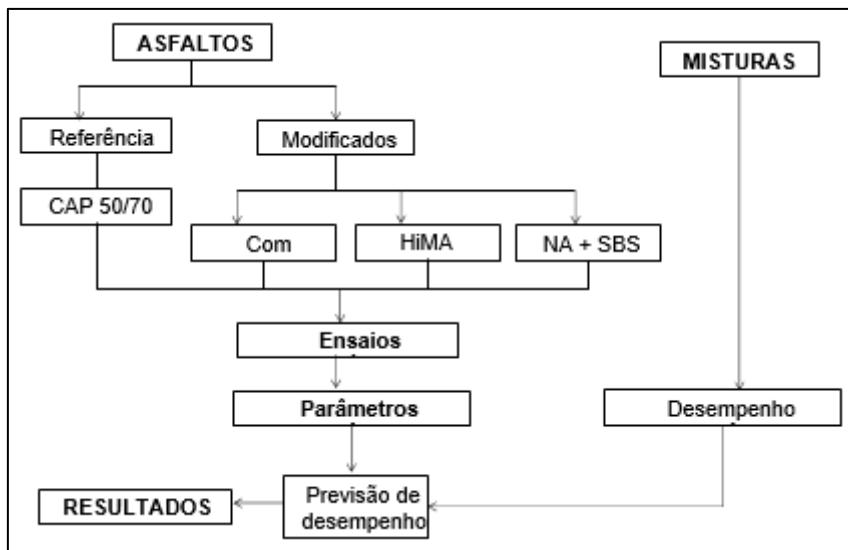
A Metodologia deste trabalho consistiu na avaliação laboratorial de ligantes asfálticos por meio do ensaio no reômetro de cisalhamento dinâmico para obtenção dos parâmetros G^* (módulo complexo de cisalhamento) e δ (ângulo de fase). Para tanto foram ensaiados os seguintes asfaltos:

- Asfalto convencional CAP 50/70;
- Asfalto Borracha;
- Asfalto com nano argila e SBS;
- Highly Modified Asphalt (HiMA).

Posteriormente, a predição de comportamento quanto à fadiga e à deformação permanente foi avaliada através dos parâmetros da especificação SUPERPAVE (ASTM, 2008). Os resultados de predição foram comparados ao desempenho mecânico em laboratório de misturas asfálticas quanto à fadiga e à deformação permanente produzidas com os ligantes estudados.

A Figura 3 apresenta o fluxograma da metodologia adotada. Para avaliar o desempenho de misturas asfálticas modificadas foram feitos testes de reometria no equipamento reômetro de cisalhamento dinâmico. Foram estudadas quatro amostras, um convencional CAP 50/70, um modificado por polímero (borracha moída de pneu), outro modificado por nano argila e polímero SBS e o Hima (asfalto altamente modificado). Os ensaios foram realizados no laboratório da Universidade Federal de Santa Catarina, conforme preconiza a metodologia norte-americana SUPERPAVE®. Posteriormente os resultados de reologia foram confrontados com os resultados obtidos na literatura para as misturas asfálticas dos respectivos ligantes.

Figura 3: Fluxograma da metodologia adotada.



Fonte: Os autores.

3.1 MATERIAIS

A Tabela 1 apresenta as características dos ligantes estudados. O asfalto borracha é proveniente de uma distribuidora e foi produzido no sistema *terminal blend* com 15% de borracha incorporada. O ligante nanomodificado foi produzido por Carlesso (2017), e foi composto por asfalto convencional base CAP 50/70 com 3% de nanoargila organofílica e 2% de polímero SBS, em relação ao peso de ligante. O ligante HiMa foi produzido em uma distribuidora brasileira de asfalto e contém 7 a 8% de polímero SBS.

Tabela 1: Caracterização dos ligantes.

Asfaltos	Especificação	Penetração (100 g, 5s, 25°C)	Ponto de amolecimento (°C)	Fonte
CAP 50/70	DNIT 095/2006	51,5	51,5	Fontes, 2009
Asfalto borracha	DNIT 111/2009	26	65	Fontes, 2009
Nano argila + SBS	DNIT 129/2011	36	56,9	Carlesso, 2017
HiMA	DNIT 129/2011	31	88,1	Silva, 2018

Fonte: Os autores.

3.2 MÉTODO

Os ensaios de reologia para a determinação de G^* e δ foram realizados no reômetro de cisalhamento dinâmico (Figura 4), de acordo com a norma ASTM D7175-08 (ASTM, 2008). Os ensaios foram conduzidos nas seguintes temperaturas 58°C; 64°C; 70°C; 76°C, 82°C e 88°C; numa varredura de frequência ν entre $7,5 \times 10^{-6}$ e $8,0 \times 10^3$ Hz.

Figura 4: Reômetro de cisalhamento dinâmico.



Fonte: Os autores.

A resistência à fadiga das misturas asfálticas foi avaliada por meio do ensaio de flexão alternada em quatro pontos em deformação controlada, de acordo com a norma ASTM D7460 (ASTM, ano). Os resultados são expressos em uma lei de fadiga, de acordo com a Equação 3:

$$N = a \left(\frac{1}{\varepsilon} \right)^b \quad (3)$$

Em que: N é o número de ciclos até a ruptura. ε é a deformação específica de tração e, a e b são constantes experimentais.

Para cada asfalto, foi também calculada a temperatura crítica correspondente a alta temperatura, de acordo com a Equação 4:

$$T_c = T_1 + \left[\frac{\log(1,00) - \log\left(\frac{G_1^*}{\sin\delta_1}\right)}{\log\left(\frac{G_1^*}{\sin\delta_1}\right) - \log\left(\frac{G_2^*}{\sin\delta_2}\right)} \right] X (T_1 - T_2) \quad (4)$$

Em que: T_c é o PG verdadeiro, T_1 é a temperatura antes da falha (°C), T_2 é a temperatura após a falha (°C), G^*1 é o módulo de cisalhamento complexo antes da

falha (MPa), G^*2 é o módulo complexo após a falha, δ_1 é o ângulo de fase antes da falha (0) e δ_2 é o ângulo de fase após a falha (0).

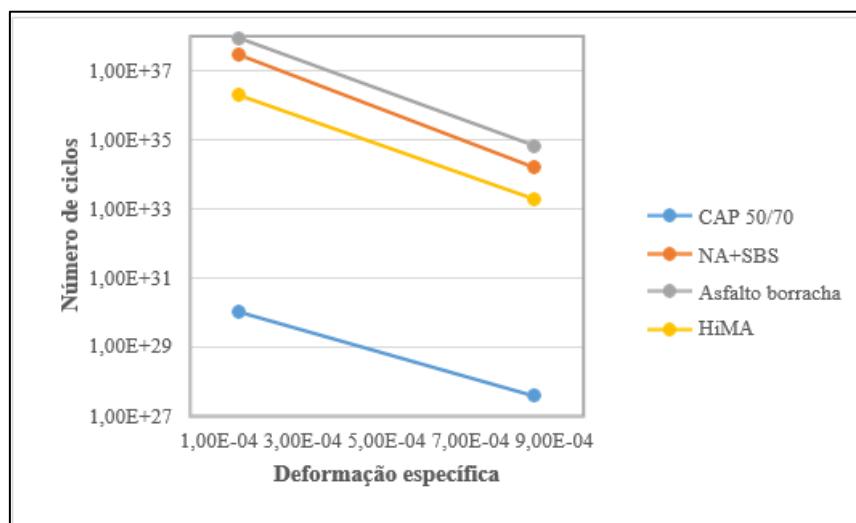
Para avaliação da resistência à deformação permanente foram ensaios realizados no equipamento francês *Orniéreur*, conforme a norma francesa AFNOR NF P 98-253-1 (AFNOR, 1991). Neste o ensaio é medida a evolução da deformação das misturas ocasionada pelo carregamento nos seguintes ciclos, 100; 300; 1.000; 3.000; 10.000 e 30.000. Os resultados são expressos numa curva de deformação, que compara o número de ciclos aplicado à deformação média medida da trilha de roda em relação à altura inicial da amostra. A Tabela 2 apresenta os dados das leis de fadiga das misturas asfálticas, de acordo com a Equação 4. A Figura 5 mostra a representação gráfica das curvas de fadiga das misturas asfálticas.

Tabela 2: Leis de Fadiga

Parâmetros experimentais	Misturas asfálticas			HiMA (Silva, 2018)
	CAP 50/70 (Fontes, 2009)	NA+SBS (Carlesso, 2017)	Asfalto borracha (Fontes, 2009)	
a	1,19E+15	2,80E+17	6,98E+18	6,81E+17
b	4,04	5,41	5,16	4,99

Fonte: Os autores

Figura 5: Curvas de fadiga das misturas



Fonte: Os autores.

De acordo com a Figura 4, pode-se observar que o desempenho à fadiga das

misturas asfálticas, em ordem decrescente de desempenho foram, Asfalto Borracha, nano argila com SBS, HiMA e asfalto convencional. É importante ressaltar que neste estudo, a granulometria das misturas asfálticas não foi avaliada.

A Tabela 3 apresenta o percentual de afundamento das misturas asfálticas a 30.00 ciclos, na temperatura de 60°C.

Tabela 3: Percentual de afundamento das misturas asfálticas.

Misturas asfálticas	CAP 50/70 (Fontes, 2009)	NA+SBS (Carlesso, 2017)	Asfalto borracha (Fontes, 2009)	HiMA (Silva, 2018)
Afundamento (%)	10,34	4,0	3,4	5,2

Fonte: Os autores.

Quanto a deformação permanente, pode-se constatar a que ao fim dos 30.000 ciclos do ensaio o CAP 50/70 foi a mistura que sofreu a maior deformação Permanente, seguido pelo HiMA, NA+SBS e o que apresentou o melhor resultado foi o Asfalto Borracha.

4. RESULTADOS

A Tabela 4 mostra os parâmetros de previsão $G^* \cdot \text{sen}\delta$ para fadiga e a Tabela 4, $G^*/\text{sen}\delta$ para deformação permanente. O critério de parada do ensaio foi definido pela ASTM D6373, que determina o ensaio para a obtenção dos valores do Grau PG, o valor limite estabelecido para ligantes virgens é de 1,00kPa para o valor de $G^*/\text{sen}\delta$, com um número mínimo de 4 temperaturas.

Tabela 4: Parâmetro $G^*, \text{sen}\delta$ de previsão à fadiga à várias temperaturas.

Temperatura (°C)	CAP 50/70	Asfalto		HiMA
		Asfalto NA+SBS	Asfalto borracha	
58	2,71	3,92	8,5	8,41
64	1,17	1,78	4,52	4,5
70	0,54	0,84	2,44	2,57
76	0,27	0,41	1,34	1,53
82	-	-	0,95	0,96
88	-	-	-	0,641

Fonte: Os autores.

Para o parâmetro $G^* \cdot \text{sen}\delta$ CAP 50/70 apresentou o desempenho mais baixo

seguido pelo Asfalto NA+SBS e o Asfalto Borracha e o HiMA apresentaram resultados muito próximos.

Tabela 5: Parâmetro $G^*/\text{sen}\delta$ de predição à deformação permanente à várias temperaturas

T (°C)	CAP 50/70	Asfaltos		HiMA
		Asfalto NA+SBS	Asfalto borracha	
58	2,73	4	10,13	11,05
64	1,18	1,82	5,1	6,04
70	0,55	0,86	2,65	3,52
76	0,28	0,428	1,43	2,16
82	-	-	1,01	1,42
88	-	-	-	1,03

Fonte: Os autores.

Como no parâmetro $G^*\cdot\text{sen}\delta$ $G^*/\text{sen}\delta$ CAP 50/70 ficou a baixo seguido pelo Asfalto NA+SBS, o Asfalto borracha foi o segundo melhor apenas atrás do HiMA. Devido a limitações no uso do equipamento não foi possível chegar a temperatura de falha do HiMA pois o equipamento só pode ser ensaiado em temperaturas de até 90°C, como a temperatura seguinte seria de 94 °C o ensaio teve que ser encerrado no valor de 88°C.

Tabela 6: Comparação dos parâmetros de Fadiga

Parâmetro	Condição	CAP 50/70	NA+SBS	Asfalto borracha	HiMA
		(Fontes, 2009)	(Carlesso, 2017)	(Fontes, 2009)	(Silva, 2018)
Lei de fadiga	Extenção = 2,031E+21	3,85E+27	2,87E+37	1,54E+43	1,95E+36
$G^*\cdot\text{sen}$	64 °C	1,17	1,78	4,52	4,5

Fonte: Os autores.

Analizando a tabela 6 podemos perceber uma relação entre os valores encontrados para fadiga segundo os dois métodos analisados. Com o CAP 50/70 ficando a baixo dos demais como previsto. No entanto, para os modificados a relação dos parâmetros não se mostrou direta, enquanto o ligante modificado com NA+SBS apresentou uma maior suscetibilidade a fadiga a mistura com esse mesmo ligante apresentou uma resistência equivalente, levemente superior, ao HiMA, que havia

apresentado um maior valor de $G^* \cdot \text{sen}\delta$. O asfalto modificado com borracha Apresentou boa resistência nos dois parâmetros sendo bem superior aos demais na lei de fadiga. Essas diferenças podem ter ocorrido pois parâmetros das misturas asfálticas não foram considerados.

Tabela 7: Comparação dos parâmetros de deformação permanente.

Parâmetro	Condição	CAP 50/70	NA+SBS	Asfalto borracha	HiMA
		(Fontes, 2009)	(Carlesso, 2017)	(Fontes, 2009)	(Silva, 2018)
Afundamento (%)	30.000 Ciclos	10,37	4	3,4	5,2
$G^*/\text{sen}\delta$	64 °C	1,18	1,82	5,1	6,04

Fonte: Os autores.

Assim como o fenômeno da fadiga, o CAP 50/70 apresentou valores piores aos asfaltos modificados. O ligante asfáltico modificado com NA+SBS apresentou valor bem inferior ao HiMA no parâmetro do $G^*/\text{sen}\delta$ diferente do que ocorreu com as misturas estudadas dos mesmos ligantes, que o NA+SBS teve um desempenho superior ao HiMA. Essa diferença entre os resultados pode ser devido as diferenças nos parâmetros das misturas.

Tabela 8: Grau PG

	Grau PG (C°)	Desvio Padrão (%)
50/70	65	0,23
NA+SBS	69	0,08
Borracha	80	0,3
Hima	88	-

Fonte: Os autores.

Os parâmetros $G^* \cdot \text{sen}\delta$ e $G^*/\text{sen}\delta$ segundo a literatura podem ser usados para fadiga e para deformação permanente respectivamente. Os ensaios realizados por esse estudo com o reômetro de cisalhamento dinâmico indicam o HiMA como mais resistente tanto ao fenômeno da fadiga quanto a deformação permanente, seguido pelo Borracha, o NA+ SBS e o asfalto convencional CAP 50/70. Esses resultados foram consistentes em todas as amostras testadas.

As misturas asfálticas comparadas na literatura para os fenômenos de fadiga à

flexão em viga de quatro pontos e o ensaio de Deformação Permanente, apresentou que a mistura com maior resistência a defeitos foi a mistura com Asfalto Borracha, Nano argila mais SBS, seguido pelo Hima e o CAP 50/70. Não correspondendo que foi encontrado quando analisado com o ligante.

Comparando os resultados encontrados nessa pesquisa para os ligantes asfálticos com os resultados encontrados na literatura para misturas asfálticas, não foi possível traçar um paralelo que apenas através dos parâmetros dos ligantes $G^* \cdot \text{sen} \delta$ e $G^*/\text{sen} \delta$ pôde-se verificar a sucessibilidade das misturas asfálticas quanto aos fenômenos da fadiga e deformação permanente.

Um importante fator que pode ter prejudicado a comparação da análise reológica do ligante com as propriedades da mistura pode ter sido o fato das misturas terem usado diferentes granulometrias. A granulometria tem grande efeito na resistência à deformação permanente e também influencia na fadiga.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil é um país em pleno desenvolvimento econômico que apresenta como principal sistema de transporte logístico o modelo de transporte viário, observa-se que devido ao aumento do escoamento de mercadorias pelo país há um consequente crescimento do volume de tráfego sobre as rodovias brasileiras.

Os asfaltos convencionais atuam de forma eficaz no que diz respeito a moderados volumes de tráfego. Contudo, quando se trata de rodovias com alto fluxo de veículos pesados, é observada uma significativa deterioração das camadas de rolamento de asfalto convencional. Os defeitos mais notáveis e de maior incidência são as rodeiras ou afundamentos (deformação permanente) e fissuração por fadiga. A adição de polímeros aos asfaltos convencionais é uma alternativa que proporciona um significativo incremento do desempenho mecânico dos pavimentos asfálticos em relação à deformação permanente e fissuração por fadiga.

Os ensaios executados no reômetro de cisalhamento dinâmico forneceram os parâmetros G^* (módulo de cisalhamento complexo) e δ (ângulo de fase), por meio dos quais se obtiveram os parâmetros reológicos de predição para deformação permanente e fadiga, $G^*/\text{sen} \delta$ e $G^* \cdot \text{sen} \delta$, respectivamente. Confrontando os valores de $G^*/\text{sen} \delta$ e $G^* \cdot \text{sen} \delta$ não foi possível relacionar esses valores com os valores de fadiga e deformação permanente obtidos na literatura para os mesmos fenômenos

testados em misturas. Conclui-se que esses parâmetros isolados não são suficientes para prever o desempenho de misturas asfálticas

REFERÊNCIAS

AFNOR, 1991. Déformation permanente des mélanges hydrocarbonés - Partie 1 : essai d'orniérage. AFNOR P98-253-1 Juillet 1991

ASTM D6373, 2015. Standard Specification for Performance Graded Asphalt Binder. Norma ASTM, 2015.

ASTM D7175, 2008. Standard test method for determining the rheological properties of asphalt binder using a dynamic shear rheometer. Norma ASTM, 2008.

BAHIA, H. U., ZENG, D. I., KHATRI, H., ZHAI, M. A., ANDERSON, R. M. Characterization of Modified Asphalt Binders in Superpave Mix Design. NCHRP Report 459. Washington D.C., National Cooperative Highway Research Program, 2001.

BERNUCCI, L.B.; MOTTA, L.M.G.; CERATTI, J.A.P.; SOARES, J.B. Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro, Brasil: PETROBRÁS Asfaltos e ABEDA (Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos), 2008.

BŁAŻEJOWSKI, K.; OLSZACKI, J.; PECKIOWSKI, H. Highly modified binders orbiton HiMA. Version 1e, 2015

BODIN, D. et al. A continuum Damage Approach of Asphalt Concrete Fatigue Tests. New York, NY, EUA: Engineering Mechanics Conference, Columbia University, 2002.

BRASIL DNIT. Cimentos asfálticos de petróleo - Especificação de material.

BRASIL DNIT. Cimento asfáltico de petróleo modificado por polímero elastomérico – Especificação de material. Rio de Janeiro, Brasil: Ministério dos Transportes – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. DNIT 129/2011 - EM

BROWN, E. R. et al. Performance Testing For Hot Mix Asphalt. Alabama, EUA: National Center For Asphalt Technology, 2001.

CALTRANS (California Department of Transportation). Maintenance Technical Advisory Guide (MTAG): Volume I, Flexible Pavement Preservation – CHAPTER 2 MATERIALS. California, USA: California Department of Transportation, 2007.

CARLESSO, Gabriela Ceccon. ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE MISTURA ASFÁLTICA MODIFICADA POR NANOARGILA E POLÍMERO SBS. Universidade Federal de Santa Catarina, dissertação de mestrado, 2018.

CHOWDHURY, A.; BUTTON J. W.; GRAU J. D. C. Effects Of SUPERPAVE Restricted Zone On Permanent Deformation. Texas, EUA: International Center For Aggregate Research e Texas Transportation Institute, 2001.

COSTELLO, B. The AR-G2 Magnetic Bearing Rheometer. Texas, EUA: TA Instruments Ltd, 2005.

COUTINHO, Fernanda M. B. et al. Avaliação Reológica de Elastômeros e suas Composições. Rio de Janeiro, Brasil: Instituto de Química, UERJ, 2004.

DNIT. Defeitos nos Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos: Terminologia. Rio de Janeiro, Brasil: Ministério dos Transportes – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

(DNIT). Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Norma DNIT 005/2003 – TER, 2003.

FONTES, Liseane Padilha. Optimização do Desempenho de Misturas Betuminosas com Betume Modificado com Borracha para Reabilitação de Pavimentos. Universidade do Minho, Portugal: tese de Doutoramento, 2009.

GOSSAIN, V.; KAPOO, K.; PROZZI, J. A. FHWA. Testing the HB2060 Pads: Equivalent Damage and Fatigue Testing. Whashington, D.C., EUA: Federal Highway Administration e colaboração do Texas Department of Transportation (Texas, EUA), 2005.

KIM, H. et. Al. Rheology of warm mix asphalt binders with aged binders. Department of Civil Engineering, Clemson University, Clemson, SC 29634, United States Construction and Building Materials, 2009.

KRATON. Highly modified asphalt (HiMA) next generation in asphalt pavement design, 2012.

KRISHNAN, J. M. & RAJAGOPAL K. R. On The Mechanical Behavior Of Asphalt. Department of Civil Engineering – Madras, India. Department of Mechanical Engineering – Texas, EUA. 2004.

LIMA C. S. et al. Estudo das Propriedades Químicas e Reológicas do Ligante Asfalto-Borracha . Rio de janeiro, Brasil: Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis – IBP, 2004.

MACHADO, José C. V. Reologia e Escoamento de Fluidos: Ênfase na Indústria do Petróleo. Rio de Janeiro, Brasil: Editora Interciênciac, 2002.

PELLINEN, Terhi K. et al. Fatigue Transfer Functions – How Do They Compare. West Lafayette, Indiana, EUA: School of Civil Engineering, Purdue University, 2004.

SHRPA. SHRP-A-404. Fatigue Response of Asphalt-Aggregate Mixes. Whashington, D.C., EUA: Strategic Highway Research Program, National Research Council - Asphalt Research Program, 1994.

SILVA, Allan Monteiro. Avaliação do desempenho mecânico de misturas asfálticas projetadas com cap hima e cap 60/85-e aplicadas na restauração de um trecho da rodovia SC-114. Universidade Federal de Santa Catarina, dissertação de mestrado, 2018.

Terminologia. Rio de Janeiro, Brasil: Ministério dos Transportes – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. DNIT 095/2006 – EM

WANG H. et al. Laboratory Evaluation on the High Temperature Rheological Properties of Rubber Asphalt: a preliminary study. Michigan, EUA: Michigan Technological University, 2012.

CAPÍTULO 17

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS NA CARACTERIZAÇÃO DE BEBIDAS ISOTÔNICAS E CARBOIDRATADAS EM BELO HORIZONTE-MG

Letícia Fraga Ferreira

Discente do curso técnico em Química

Instituição: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Endereço: Av. Amazonas, 5253 – Nova Suiça – Belo Horizonte – MG, CEP: 30421169, Brasil

E-mail: leticia2910.fraga@gmail.com

Ana Clara Manini Soutelo

Graduanda em Química Tecnológica

Instituição: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Endereço: Av. Amazonas, 5253 – Nova Suiça – Belo Horizonte – MG, CEP: 30421169, Brasil

E-mail: clara_manini@hotmail.com

Ana Maria de Resende Machado

Doutora em Ciências dos Alimentos

Instituição: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – MG

Endereço: Av. Amazonas, 5253 – Nova Suiça – Belo Horizonte – MG, CEP: 30421169, Brasil

E-mail: anamrmachado@cefetmg.br

Fátima de Cássia Oliveira Gomes

Doutora em Microbiologia

Instituição: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Endereço: Av. Amazonas, 5253 – Nova Suiça – Belo Horizonte – MG, CEP: 30421169, Brasil

E-mail: fatimaog@cefetmg.br

Flávia Regina de Amorim

Doutora em Química

Instituição: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Endereço: Av. Amazonas, 5253 – Nova Suiça – Belo Horizonte – MG, CEP: 30421169, Brasil

E-mail: amorim.quimica@gmail.com

Anderson Arthur Rabello

Instituição: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Endereço: Av. Amazonas, 5253 – Nova Suiça – Belo Horizonte – MG, CEP: 30421169, Brasil

E-mail: arthur@cefetmg.br

RESUMO: Com a crescente busca por uma vida saudável e a grande demanda pela prática de atividades físicas, o mercado de bebidas isotônicas começou a expandir-se e ampliar-se, com variadas marcas e sabores para atender ao consumidor. Segundo a Agência de Vigilância Sanitária (ANVISA), por meio da Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) n° 18/2010, as bebidas isotônicas são repositórias hidroeletrolíticas destinadas a atletas (pessoas que praticam atividades físicas intensas, frequentes e de longa duração). Com o intuito de averiguar-se a qualidade físico-química das bebidas e a correspondência entre as concentrações de sódio e potássio rotuladas nas embalagens do produto e as encontradas nas amostras, realizou-se determinações de acidez titulável, pH, sólidos solúveis e dos íons sódio e potássio. Para a determinação da acidez titulável e pH, foram utilizadas técnicas potenciométricas. Para a quantificação de sólidos solúveis, utilizou-se um refratômetro de Abbé e para a determinação dos íons sódio e potássio foi empregada a espectrometria de absorção atômica (EAA) com atomização em chama. As amostras apresentaram pH entre 3,05 e 3,78; acidez titulável entre 2,71 e 6,35 e os sólidos solúveis entre 0,19 e 7,3 °Brix. As concentrações dos analitos Na e K na maioria das amostras diferiram significativamente em relação ao rotulado. A maioria das amostras isotônicas apresentou concentrações de sódio superiores e de potássio inferiores em relação ao rotulado no produto. Já as amostras de bebidas carboidratadas apresentaram comportamento oposto, uma vez que foram encontradas concentrações superiores para o potássio e inferiores para o sódio, em relação ao rotulado. Os valores permitidos pela RDC 18/2010 para as bebidas isotônicas são de 460 a 1150 mg L⁻¹ para o sódio e máximo de 700 mg L⁻¹ para o potássio, além de máximo de 8% m v⁻¹ para os carboidratos. Apenas a amostra da marca B, sabor 4 apresentou concentração de sódio inferior ao limite permitido.

PALAVRAS-CHAVE: Bebidas isotônicas; Análises físico-químicas; Sódio e Potássio.

ABSTRACT: With the growing search for a healthy life and the great demand for physical activities, the isotonic drinks market started to expand and expand, with different brands and flavors to serve the consumer. According to the Health Surveillance Agency (ANVISA), through Collegiate Board Resolution (RDC) No. 18/2010, isotonic drinks are hydroelectrolytic repositories for athletes (people who practice intense, frequent and long-lasting physical activities). In order to verify the physical-chemical quality of the drinks and the correspondence between the concentrations of sodium and potassium labeled on the product packaging and those found in the samples, determinations of titratable acidity, pH, soluble solids and ions were carried out. sodium and potassium. To determine the titratable acidity and pH, potentiometric techniques were used. For the quantification of soluble solids, an Abbé refractometer was used and for the determination of sodium and potassium ions, atomic absorption spectrometry (EAA) with flame atomization was used. The samples had a pH between 3.05 and 3.78; titratable acidity between 2.71 and 6.35 and soluble solids between 0.19 and 7.3 °Brix. The concentrations of analytes Na and K in most samples differed significantly from the labeled ones. Most of the isotonic samples showed higher sodium and potassium concentrations than those labeled in the product. The samples of carbohydrate drinks showed the opposite behavior, since higher concentrations were found for potassium and lower for sodium, in relation to the labeled. The values allowed by RDC 18/2010 for isotonic drinks are 460 to 1150 mg L⁻¹ for sodium and a maximum of 700 mg L⁻¹ for potassium, as well as a maximum of 8% m v⁻¹ for carbohydrates. Only the sample from brand B, flavor 4, showed a sodium concentration below the permitted limit.

1 for sodium and a maximum of 700 mg L⁻¹ for potassium, in addition to a maximum of 8% m v⁻¹ for carbohydrates. Only the sample of brand B, flavor 4 showed sodium concentration below the permitted limit.

KEYWORDS: Isotonic drinks; Physicochemical analysis; Determination of sodium and potassium

1. INTRODUÇÃO

O primeiro consumo das bebidas isotônicas se deu na década de 1960, no estado da Flórida- Estados Unidos. A bebida foi formulada por pesquisadores da Universidade da Flórida, testando a eficiência do produto desenvolvido numa partida de futebol americano, pelo time da Universidade (*Baby Gators*), que apresentou maior rendimento e alto desempenho após o consumo no intervalo do jogo. A partir de 1969 a bebida passou a ser ofertada pela Gatorad, chegando ao Brasil em 1988. (GEITTENS, 2012; SALIBA, 2019). Desde então o consumo de bebidas isotônicas apenas cresceu, passando de 20 litros/habitante/ano em 2010 para 35 litros/habitante/ano em 2013 (ABIR, 2018).

As bebidas isotônicas, segundo a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº18/2010 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), são definidas por suplementos hidroeletrolíticos destinados a atletas, com o intuito de reidratação, compostos majoritariamente por água e eletrólitos como o sódio e o potássio, além de outros componentes minoritários como as vitaminas, corantes, açúcares, acidulantes, aromatizantes e carboidratos, excluindo-se o uso de fibras alimentares na constituição da bebida. Algumas bebidas carboidratadas não apresentam concentração de sódio suficiente para serem consideradas isotônicas, uma vez que são hipotônicas, ou seja, apresentam concentração osmótica inferior à sanguínea (ANVISA, 2010).

A concentração dos eletrólitos é demasiadamente importante para a finalidade da bebida, uma vez que a pressão osmótica da mesma é o que designa sua eficiência. A osmolidez das bebidas isotônicas apresenta-se entre 270 a 330 mOsm kg⁻¹, semelhante a osmolidez sanguínea, entre 285 a 295 mOsm kg⁻¹, daí sua denominação. Essa similaridade facilita a rápida absorção de água e de nutrientes, desempenhando sua função de hidratação, além de fornecer energia por meio dos carboidratos. A legislação determina uma concentração de sódio entre 460 a 1150 mg L⁻¹ e máximo de 700 mg L⁻¹ para o potássio, além de 8% m v⁻¹ para os carboidratos (ANVISA, 2010; PETRUS; FARIA, 2005).

O íon sódio apresenta demasiada função no corpo humano, uma vez que é responsável pela condução de impulsos nervosos, no balanceamento de líquidos do corpo, auxílio na contração muscular e pressão arterial. Já o íon potássio também atua auxiliando a contração muscular, atividade dos nervos, além de ser o principal íon intracelular (DIONÍZIO, 2016). Juntos, sódio e potássio são importantes no controle osmótico celular, denominado de bomba sódio-potássio (SALIBA, 2019). Porém em excesso podem causar danos à saúde. Com a tendência de vida saudável e crescimento na prática de exercícios físicos, muitas pessoas consomem as bebidas isotônicas de forma deliberada e frequente, sem prescrição médica ou orientação de um nutricionista. Tal atitude pode acarretar o desenvolvimento de determinadas doenças como a hipertensão e a hiponatremia, uma vez que o corpo não exige a reposição de tais eletrólitos nesta quantidade, por não ter ocorrido perda significante dos mesmos por meio de excreção (WESCHENFELDER; CONDE, 2012; CAVALCANTE; COSTA, 2017).

Diante do exposto, a determinação dos níveis de eletrólitos e de outros parâmetros físico-químicos deve ser efetuada para a verificação do cumprimento da Legislação e, consequentemente, da qualidade de bebidas isotônicas e similares. Diversas técnicas analíticas como a espectrometria de absorção atômica (EAA) e a potenciometria, entre outras, estão disponíveis para a caracterização de alimentos e bebidas. A espectrometria de absorção atômica constitui uma técnica com excelente desempenho para a quantificação dos íons Na^+ e K^+ , eletrólitos presentes nas bebidas isotônicas de fundamental importância para facilitar a reidratação, desempenho do organismo e controle osmótico celular, quando se apresentam em níveis adequados. A acidez titulável possibilita verificar o estado de conservação dos alimentos, uma vez que contaminações e outras variações no meio podem alterar a acidez dos mesmos, por meio de oxidações, fermentação ou hidrólise (GUBOLINO, 2007). O pH dos alimentos faz-se essencial para a percepção de sabor dos mesmos, além de auxiliar na inibição microbiológica. Os sólidos solúveis são as contribuições dos açúcares, vitaminas e demais compostos solúveis no meio, permitindo a quantificação dos mesmos através da refração da luz, por meio do °Brix (GUBOLINO, 2007; SILVA, 2013).

Teve-se como intuito neste trabalho a verificação da qualidade físico-química das bebidas isotônicas e carboidratadas, e a comparação das concentrações de sódio

e potássio rotuladas no produto, bem como a correspondência com a legislação vigente.

2. MATERIAIS, MÉTODOS E INSTRUMENTAÇÃO

2.1 AMOSTRAS

As amostras foram adquiridas no comércio local, na cidade de Belo Horizonte. Foram utilizadas 20 amostras de bebidas isotônicas e carboidratadas para a determinação dos íons sódio e potássio por EAA , assim como para as demais análises físico-químicas.

Adquiriu-se 20 amostras de bebidas carboidratadas e isotônicas, de cinco marcas e sabores distintos para as análises, sendo que da marca A utilizou-se amostras 1 e 2; da marca B as amostras 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11; da marca C, as amostras 12, 13, 14 e 15; da marca D, a amostra 16; e da marca E, as amostras 17, 18, 19 e 20. As amostras de marca A, B, C e D são consideradas bebidas isotônicas, e as amostras da marca E são consideradas carboidratadas.

2.2 ACIDEZ TITULÁVEL, pH E SÓLIDOS SOLÚVEIS

Para a caracterização físico-química de acidez titulável, pH e sólidos solúveis foram empregados os métodos analíticos descritos pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

Na determinação do pH, fez-se uso de um medidor de pH digital (Digimed, São Paulo, Brasil) equipado com eletrodo de membrana de vidro calibrado com soluções tampão de pH $4,00 \pm 0,01$ e $7,00 \pm 0,01$ (Merck, Darmstadt, Alemanha), em triplicata.

A acidez titulável foi determinada por titulação potenciométrica utilizando-se solução padronizada de hidróxido de sódio $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, bureta de $10,00 \text{ mL}$ e agitador magnético (Fisatom, São Paulo, Brasil). As amostras foram diluídas dez vezes antes da determinação, que foi efetuada considerando o ponto final em pH 8,3.

Para a determinação dos sólidos solúveis, realizou-se a quantificação por meio de um refratômetro de ABBE, em °Brix. Após limpeza do prisma com uma mistura 1:1 de éter etílico e etanol, gotejou-se em seguida 3 gotas da amostra, em triplicata.

2.3 SÓDIO E POTÁSSIO

Para o desenvolvimento analítico e quantificação de sódio e potássio, os experimentos foram realizados em um espectrômetro de absorção atômica da marca Varian (Mulgrave, Austrália) modelo SpectrAA 55B, equipado com um corretor de absorção de fundo com fonte contínua (lâmpada de arco de deutério). Acetileno (White

Martins, São Paulo, Brasil) foi utilizado como gás combustível e ar comprimido (Oximil, Ibirité, Brasil) foi empregado como oxidante. Lâmpada de cátodo oco multielementar (Na/K) da marca Varian, operando nas condições recomendadas pelo fabricante foi empregada como fonte de radiação. As condições utilizadas são apresentadas na tabela 1. As vidrarias e frascos utilizados foram previamente lavados com detergente neutro, banho de ácido nítrico 10% v/v por no mínimo 6 horas e enxaguados várias vezes com água deionizada a cada etapa de lavagem.

Tabela 1: Condições experimentais utilizadas na quantificação Na e K por espectrometria de absorção atômica.

Parâmetro	Na	K
Corrente da lâmpada, mA	10	10
Comprimento de onda, nm	330,2	440,4
Fenda, nm	0,5	0,5

Fonte: Os autores.

Todos os reagentes utilizados foram padrões de grau analítico. As soluções para a calibração foram preparadas a partir de diluição das soluções de referência de Na e K, na concentração de 1000 mg L⁻¹ cada (Specsol, Jacareí, Brasil). Para minimizar os efeitos de ionização, foram empregadas soluções de cloreto de césio 1,3% m v⁻¹ (para determinação de K), e cloreto de potássio 20% m v⁻¹ (para determinação de Na), ambas preparadas a partir dos reagentes sólidos CsCl P.A. e KCl P.A. (Merck, Darmstadt, Alemanha), conforme recomendado pelo fabricante (AGILENT TECHNOLOGIES, 2015).

Foram efetuados estudos de efeito de matriz, para verificação da seletividade do método e possibilidade de análise direta (sem decomposição da amostra). Após este estudo, o método foi testado em relação ao desempenho (obtenção de figuras de mérito) para os parâmetros limites de detecção e quantificação, exatidão e precisão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

A tabela 2 se refere aos resultados obtidos por meio das análises físico-químicas das bebidas isotônicas.

Tabela 2: Resultados de acidez titulável, pH e sólidos para as amostras de bebidas isotônicas e carbonatadas.

MARCA	CÓDIGO DA AMOSTRA	ACIDEZ TITULÁVEL	pH (n=3)	SÓLIDOS SOLÚVEIS (°BRIX) (n=3)

		(%) (n=3)		
A	A1	2,80±0,07	3,05±0,01	4,56±0,01
A	A2	2,71±0,07	3,05±0,01	4,81±0,01
B	B3	4,18±0,14	3,08±0,01	7,56±0,07
B	B4	4,09±0,01	3,16±0,01	7,31±0,01
B	B5	3,61±0,14	3,24±0,02	7,31±0,07
B	B6	4,32±0,08	3,17±0,01	5,83±0,15
B	B7	3,56±0,07	3,08±0,01	6,81±0,01
B	B8	4,13±0,07	3,22±0,03	7,31±0,01
B	B9	4,23±0,07	3,17±0,01	6,81±0,01
B	B10	4,42±0,07	3,22±0,01	5,91±0,43
B	B11	4,31±0,10	2,99±0,08	6,81±0,07
C	C12	4,61±0,07	3,57±0,01	4,31±0,14
C	C13	4,70±0,07	3,69±0,04	4,31±0,07
C	C14	6,22±0,07	3,65±0,01	3,81±0,01
C	C15	6,35±0,05	3,30±0,01	3,33±0,29
D	D16	3,23±0,18	3,29±0,01	0,19±0,20
*E	E17	4,09±0,18	3,26±0,02	4,08±0,14
*E	E18	4,02±0,03	3,25±0,01	4,08±0,14
*E	E19	4,04±0,09	3,28±0,02	4,33±0,14
*E	E20	3,84±0,03	3,29±0,01	4,16±0,24

Fonte: Os autores.

*Bebidas carboidratadas

Com base na tabela 1, observa-se que a amostra 13, sabor maracujá da marca C apresentou maior valor de pH 3,69±0,04 enquanto a amostra 11, de mesmo sabor, porém da marca B apresentou o menor valor de 2,99±0,08. De modo geral os valores de pH das amostras, apresentaram-se em uma faixa pouco variável, mostrando semelhança entre os resultados obtidos, sendo as amostras de mesma marca as de pH mais próximo. O consumo constante destas bebidas pode causar malefícios a saúde bucal, uma vez que pH inferior a 5,5 causa desgaste e dissolução do esmalte dental, promovendo erosão dentária (PIRES et al, 2015).

O baixo valor para o pH observado deve-se provavelmente à adição de acidulantes, sendo o mais empregado o ácido cítrico por atribuir sabor cítrico das furtas, auxiliando na percepção do mesmo. O ácido tartárico geralmente é empregado em bebidas sabor uva, por ser um componente natural desta fruta. Além disso, os acidulantes como o ácido cítrico agem também como antioxidantes, sequestrando íons metálicos que possam causar problemas na composição, bem como impedir a cristalização dos açúcares presentes.

Apesar da variabilidade de marcas, observa-se que há semelhança entre os

valores de pH, apresentando pequenas diferenças e baixo pH em todas elas. Outros trabalhos, como relatado por Pires e colaboradores (2015), no qual encontraram valores de pH das 5 bebidas analisadas na faixa entre $2,96 \pm 0,01$ e $3,06 \pm 0,02$, o que corrobora com os resultados obtidos em nosso trabalho.

Observando-se a tabela 2, verifica-se também grande variação quanto aos valores de acidez titulável, sendo a amostra C15, sabor limão, a de maior acidez, ($6,35 \pm 0,05$)% , e a de menor acidez , a amostra A2 , sabor uva, ($2,71 \pm 0,07$)%.

Os dados obtidos não apresentaram grande relação entre marcas e sabores, uma vez que algumas amostras diferem-se consideravelmente das demais. Faz-se relevante ressaltar que 10% das amostras apresentaram acidez titulável entre 2 - 3%, e ambas as amostras são da marca A, bem como as duas amostras de maior acidez titulável ($>5\%$, 10% das amostras), que apesar da discrepância em relação às demais, pertencem à marca C. Em 80% das amostras, observou-se acidez titulável entre 3 e 5%. Apesar disso, é notável que as amostras carboidratadas da marca E e mesmo sabor, porém de lotes distintos, apresentam maior semelhança entre os valores obtidos, mostrando semelhante conservação.

Apesar de não haver legislação que preconize valores para estipular a qualidade das bebidas por meio de tal parâmetro, Silva (2013) relata valores entre 4,59 e 5,78, estando este intervalo contido nos resultados obtidos em nosso trabalho.

Os principais açúcares presentes nas bebidas analisadas são a sacarose, a dextrose, a glicose e a maltodextrose, além disso, também estão presentes edulcorantes como os glicosídeos de esteviol.

Com base na tabela 2, observa-se proximidade entre os valores encontrados entre as amostras de mesma marca, uma vez que a formulação (a matriz) energética dessas bebidas é produzida pelo mesmo fabricante e consiste nos mesmos ingredientes empregados, além de apresentarem semelhante armazenagem. O maior valor é representado pela amostra B3 ($7,56 \pm 0,07$ °Brix) e a de menor valor pela amostra D16 ($0,19 \pm 0,20$ °Brix).

A amostra D16 sabor tangerina apresenta denominação “zero calorias”, portanto, concentração de açúcar reduzida, condizendo com o resultado obtido sendo a única com valor inferiores a 3 °Brix.

As demais amostras apresentaram faixa mais variável de sólidos solúveis, sendo que nas amostras da marca B observaram maiores valores de sólidos solúveis.

É interessante ressaltar que as amostras B10 e B11 apresentaram aproximadamente 0,9 °Brix de diferença, apesar de serem de mesmo sabor, porém de lotes distintos. Geittens, em 2012, obteve uma faixa diferente analisando quinze amostras de bebida, variando de 1,44 ° a 5,36 °Brix. Entretanto, Gironés-Vilaplana e colaboradores (2013) encontraram uma faixa menos ampla variando de 5,0 a 7,67 °Brix. Outros trabalhos mostraram faixa de sólidos solúveis entre 4,93 e 6,00 °Brix (SOUSA, 2013), 6,0 a 6,2 °Brix (PETRUS, 2005) e 6,33% a 12,50% (CAVALCANTI et al., 2010) para as bebidas estudadas. Em nossa pesquisa os valores de sólidos solúveis mostraram uma faixa ampla, variando de 3,33 a 7,56 °Brix, exceto a bebida zero calorias, resultados estes que corroboram com as pesquisas anteriores.

A presença dos sólidos solúveis influencia na viscosidade facilitando a sua retenção nas estruturas dentárias (CAVALCANTI et al. 2010), além disso influencia o sabor, densidade, conservação e cristalização do produto, além de potencializar o desenvolvimento de microrganismos, por serem fonte de energia para os mesmos (SALIBA, 2019).

3.2 ÍON SÓDIO E POTÁSSIO

3.2.1 VERIFICAÇÃO DO DESEMPENHO DO MÉTODO EMPREGANDO ANÁLISE DIRETA

Dois métodos de análise direta para a quantificação de Na⁺ e K⁺, respectivamente, por espectrometria de absorção atômica foram desenvolvidos para caracterização das amostras. Inicialmente, estudos de efeito de matriz foram efetuados para a checagem do melhor tipo de calibração para cada um dos elementos. Para simular todos os prováveis efeitos de matriz existentes nas amostras de bebidas isotônicas e carbohidratadas, preparou-se uma amostra (amostra composta), através da mistura de volumes iguais de 12 (doze) amostras, de variados sabores, dentre as estudadas. Foram construídas curvas de calibração em meio aquoso (calibração externa ou método de rotina) e curvas de adição de matriz com a amostra composta (calibração interna ou método das adições) para verificar os efeitos de matriz. Os resultados deste estudo podem ser visualizados nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3: Resultados obtidos nos estudos de efeito de matriz no desenvolvimento de método para a quantificação de íon Na⁺ e K⁺ por espectrometria de absorção atômica.

Reta nº	Tipo de calibração	Inclinação e desvio obtido pela regressão	Fator de diluição	r ^a	Faixa de trabalho, mg L ⁻¹
1	Método de	0,00093 ± 0,00004	-	0,9954	0 - 400

	rotina, Na ⁺						
2	Método das adições, Na ⁺	0,00077	±	0,00003	5	0,9983	0 - 300
3	Método de rotina, K ⁺	0,00085	±	0,00010	-	0,9999	0 - 300
4	Método das adições, K ⁺	0,00082	±	0,00007	5	0,9968	0 - 240

Fonte: Os autores.

A partir dos resultados, observa-se que os coeficientes de correlação de todas as curvas apresentaram $r > 0,99$ e, simultaneamente, comportamento retilíneo, sendo, portanto, considerados com linearidade adequada para a quantificação. Além disso, ao comparar as inclinações das retas 1 e 2 e das retas 3 e 4, obtidas em condições de repetitividade, por meio dos testes F e t verificou-se que as inclinações das mesmas são estatisticamente equivalentes (limite de confiança de 95%), portanto não há indícios de existência de efeito de matriz. Tal fato sugere que a calibração pode ser efetuada através de curvas de calibração em meio aquoso (método de rotina ou calibração externa), visto que a matriz não interferiu no sinal analítico. Assim, efetuaram-se as quantificações de forma direta nas amostras de bebidas isotônicas e carbohidratadas, sem decomposição prévia da amostra. A minimização de etapas analíticas constituiu uma vantagem interessante, pois levou a um menor custo, menor consumo de reagentes e energia, além de menor possibilidade de contaminações das amostras. A partir de então, os testes subsequentes foram efetuados com uso de calibração externa. As características analíticas de desempenho dos métodos foram determinadas e podem ser visualizadas na tabela 4.

Os limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) foram calculados através do critério IUPAC, de acordo com $LD = 3 s_{blank}, n=10 / slope$ e $LQ = 10 s_{blank}, n=10 / slope$, obtendo-se os valores de $2,2 \text{ mg L}^{-1}$ e de $7,2 \text{ mg L}^{-1}$ para Na e $1,7 \text{ mg L}^{-1}$ e $5,7 \text{ mg L}^{-1}$ para K, respectivamente. Estes limites foram considerados satisfatórios, uma vez que foram reportados limites de quantificação de 15 mg L^{-1} para o K e de 2 mg L^{-1} para o Na pelo fabricante (AGILENT TECHNOLOGIES, 2015), considerando a matriz aquosa. Outro trabalho apresentou limite de detecção superior, no qual o limite de detecção para o sódio em amostras de sucos foi de 5 mg L^{-1} , utilizando-se da técnica de espectrofotometria de absorção atômica por chama (CAMPOS et al., 2010). Para o íon potássio, Dionízio e colaboradores (2016) relataram limite de detecção inferior ao encontrado no presente trabalho, sendo de $0,050 \text{ mg L}^{-1}$ para determinação de

potássio em água mineral por EAA, entretanto a faixa linear utilizada foi para baixas concentrações, variando de 0,2 a 2 mg L⁻¹ (DIONÍZIO, 2016).

Estudos de exatidão (por meio de testes de recuperação) e precisão foram realizados através da quantificação de Na e K em amostras fortificadas (INMETRO, 2018). Os ensaios relativos ao íon sódio foram conduzidos com fortificação nos níveis 80, 120 e 240 mg L⁻¹ e nos ensaios relativos ao íon potássio as amostras foram fortificadas nos níveis 75, 175 e 225 mg L⁻¹. Observou-se uma precisão satisfatória, ao verificar o coeficiente de variação (CV): 1,9 a 3,5% para o íon sódio; 3,0 a 5,4% para íon K⁺. Os dados obtidos na recuperação apresentaram-se dentro do limite esperado em todas as amostras, sendo os valores encontrados para Na entre 82 e 108% e para o K de 92 a 102%. Estes valores de recuperação foram considerados adequados por se apresentarem entre 80 e 110% (INMETRO, 2008).

Tabela 4: Características de desempenho do método de análise direta de Na e K por espectrometria de absorção atômica com chama em bebidas isotônicas e similares.

Parâmetros	Resultados	
Faixa de trabalho (mg L ⁻¹)	7,2 - 400	5,7 – 300
Linearidade	Adequada	Adequada
Limite de detecção, LD (mg L ⁻¹)	2,2	1,7
Limite de quantificação, LQ (mg L ⁻¹)	7,2	5,7
Precisão, CV (%) (n=3 por nível)	1,9 a 3,5 ^a	3,0 a 5,4 ^b
Recuperação (%) (n=3 por nível)	82 a 108 ^a	92 a 102 ^b

Fonte: Os autores.

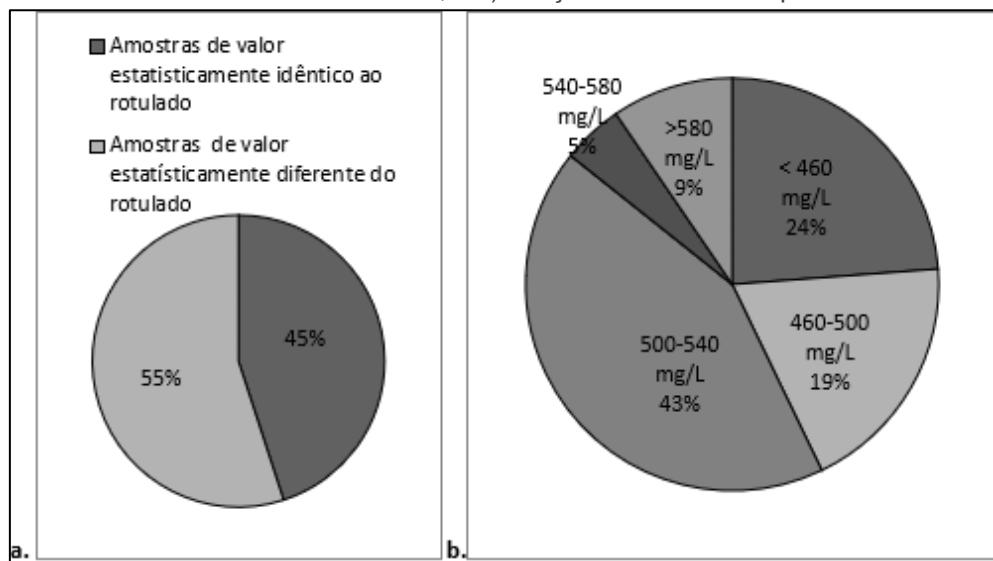
^a níveis estudados: 80 a 240mg L⁻¹; ^b níveis estudados: 75 a 225mg L⁻¹.

3.2.2 QUANTIFICAÇÃO DE Na E K POR ANÁLISE DIRETA

As amostras foram conduzidas à leitura no espectrômetro após calibração pelo método de rotina. Para a quantificação de sódio, as amostras foram diluídas 2 vezes, exceto as carbohidratadas. Para o íon potássio, a situação foi inversa, as amostras carbohidratadas foram diluídas por um fator de 2. Os resultados podem ser observados nos gráficos 1, para o sódio e 2, para o potássio, dispostos abaixo.

Gráficos relativos à determinação da concentração do íon sódio nas bebidas isotônicas.

Gráfico 1: Resultados obtidos na determinação do ion Na⁺ em: a) relação das amostras com valor estatisticamente idêntico ao rotulado; e b) relação das amostras quanto à concentração (mg L⁻¹).



Fonte: Os autores.

Para o cátion sódio, as concentrações encontradas variaram de 406 a 653 mg L⁻¹ para as bebidas isotônicas, já as carboidratadas variaram de 222 a 232 mg L⁻¹.

A partir dos dados apresentados pelo gráfico 1, observou-se discrepância entre as concentrações rotuladas nas embalagens e as concentrações determinadas nas bebidas. Das 10 amostras das 16 analisadas, consideradas isotônicas, apresentaram concentrações superiores em relação às rotuladas. Já as carboidratadas (hipotônicas) apresentam comportamento oposto, sendo todas elas de concentração de sódio inferior ao estipulado pela rotulagem. Entretanto, através do teste t, as concentrações obtidas para as amostras A1, A2, B4, B5, B7, B9, B10, B11 e C13 apresentaram valores considerados estatisticamente idênticos ao rotulado, sendo estas 45% das amostras analisadas.

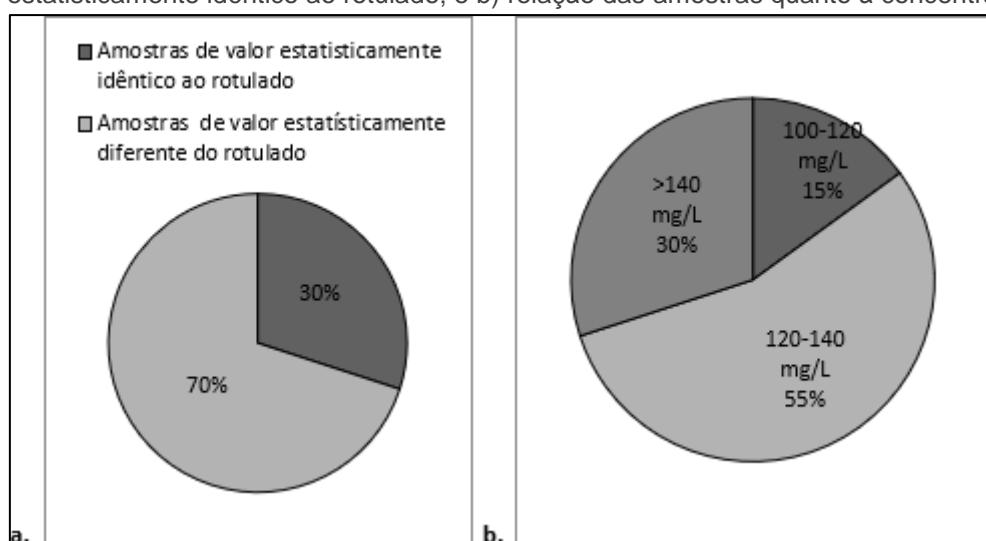
A partir do gráfico 2, observou-se que 24% das amostras apresentaram concentração inferior a 460 mg L⁻¹, sendo que 4 das amostras são carboidratadas. Os 9% das amostras com concentração superior a 580 mg L⁻¹ correspondem à duas amostras da marca C, de sabores distintos, não havendo relação entre sabores, mas sim entre marcas.

Apesar de tal discrepância relativa à concentração encontrada e a rotulada nas amostras, Leśniewicz e colaboradores (2016) utilizaram a técnica de ICP OES, para determinar não só o sódio, mas outros minerais, encontrando também discordâncias superiores a 5% em relação ao valor rotulado para o sódio.

Apesar da diferença entre o valor rotulado e o valor determinado experimentalmente, a precisão das medidas encontra-se, em maioria, inferior a 5%, apresentando uma precisão satisfatória nas medidas realizadas, variando de 0,20% a 6,30%, indicando alta repetitividade. Apenas uma amostra, B3, está em desacordo com as normas estipuladas pela ANVISA que preconiza concentração de sódio entre 460 a 1150 mg L⁻¹, (ANVISA, 2010) e neste caso o valor encontrado foi de 406±24 mg/L, abaixo do estipulado.

Gráficos referentes à determinação da concentração do íon potássio nas bebidas isotônicas, expressos abaixo.

Gráfico 2: Resultados obtidos na determinação do ion K+ em: a) relação das amostras com valor estatisticamente idêntico ao rotulado; e b) relação das amostras quanto à concentração (mg L⁻¹).



Fonte: Os autores.

Para as determinações de potássio, foi possível verificar através dos resultados, maior diferença entre os valores determinados e os rotulados em relação ao sódio. Os valores encontraram-se entre 105 e 141 mg L⁻¹ para as bebidas isotônicas e entre 225 e 241 mg L⁻¹ para as bebidas carboidratadas.

Apenas a amostra D16 apresentou valor superior de potássio em relação ao rotulado, todos os outros 95% das amostras apresentam concentrações inferiores ao estipulado pelo rótulo. Dos 30% de amostras com concentração superior a 140 mg L⁻¹, encontra-se todas as quatro amostras de bebidas carboidratadas, duas delas de mesmo sabor, e todas de mesma marca (E).

As amostras B4 e B6 apresentaram mesma concentração (129 mg L⁻¹), e além de pertencerem à mesma marca, possuem mesmo sabor, porém pertencem a lotes

distintos. O mesmo aconteceu com as amostras C14 e C15, que pertencem à mesma marca e apresentaram a mesma concentração (141 mg L^{-1}), apesar de serem diferentes sabores.

Os dados revelam diferença relativa entre o valor rotulado e o valor determinado, verificado através do teste T, mostrando que 30% das amostras apresentaram valores estatisticamente idênticos ao rotulado, conforme o gráfico 3. As demais amostras apresentaram valores mais elevados em relação ao T tabelado (4,303), porém próximos do mesmo. O coeficiente de variação (CV) apresentou-se inferior a 5% na maioria das amostras, e até inferior a 1% (alta precisão) nas amostras E20, C12, B7 e B8. Apenas a amostra C14 apresentou CV superior a 5% (5,52%), mostrando boa precisão das análises e repetitividade dos dados. É relevante destacar a proximidade das concentrações obtidas, especialmente entre amostras de mesma marca. As amostras carboidratadas apresentaram maior proximidade dos dados obtidos em relação à rotulagem.

Apesar de tais discrepâncias, todas as amostras enquadram-se à RDC nº 18/2010, apresentando valores inferiores a 700 mg L^{-1} , uma vez que a legislação não estipula concentração mínima de potássio nas bebidas isotônicas, somente valor máximo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, observou-se correspondência entre os valores encontrados neste trabalho com aqueles publicados na área. Além disso, os valores encontrados assemelham-se entre as marcas, em especial os do pH. Com a falta de exploração da área de análise deste artigo, e com a baixa densidade de pesquisas relacionadas ao assunto abordado, torna-se inviável justificar as variações encontradas com relação às concentrações em vista ao determinado pelo rótulo do produto, apesar de seis amostras da determinação para K^+ e nove amostras de determinação de Na^+ apresentaram valor estatisticamente idêntico ao rotulado . Entretanto, faz-se necessário ressaltar que apenas uma amostra apresentou concentração de sódio inferior ao estipulado pela legislação.

Faz-se demasiadamente importante a análise das características físico-químicas do produto, uma vez que designam a qualidade e o seu aspecto , podendo inferir sobre sua armazenagem e produção, além de assegurar ao consumidor final

quanto a sua ingestão. É essencial que a concentração do produto seja condizente com o previsto pela rotulagem, uma vez que as bebidas isotônicas e carboidratadas são consumidas com uma finalidade específica, podendo não atingir o objetivo e efeito esperado, bem como comprometer a saúde do consumidor, uma vez que quando consumido em excesso e sem necessidade pode contribuir para o desenvolvimento de doenças como hipertensão e hiponatremia, além de gerar erosão dentária devido ao baixo pH encontrado.

REFERÊNCIAS

- ABIR. Isotônicos. **Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e de bebidas não alcoólicas.** Disponível em: <<https://abir.org.br/o-setor/bebidas/isotonicos/>>. Acesso em 9 de outubro de 2019.
- AGILENT TECHNOLOGIES. **Flame Atomic Absorption Spectrometry – Analytical Methods**, Mulgrave, Victoria, Australia, Twelfth edition, 2015 – COOKBOOK
- ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária Resolução RDC n. 18 de 27 de abril de 2010, Ministério da Saúde. 2010
- CAMPOS, E. M. F.; ROGONI, T. T.; MASSOCATTO, C. L; DINIZ, K. M.; CAETANO, J.; DRAGUNSK, D. C. Quantificação de minerais em sucos industrializados. **Arquivos de Ciências da Saúde da UNIPAR**.14(1):11-16, 2010.
- CAVALCANTI, A. L.; XAVIER, A. F. C.; SOUTO, R. Q.; OLIVEIRA M. C.; SANTOS, J. A.; VIEIRA, F. F. Avaliação In Vitro do Potencial Erosivo de Bebidas Isotônicas. **Revista Brasileira de Medicina e Esporte**. 16(6):455-458, 2010.
- CAVALCANTE, M. S.; COSTA, C. L. S. Uso de bebidas isotônicas por praticantes de atividade física em Teresina-PI. **Revista Brasileira de Nutrição Esportiva**. 11(66), 657-661, 2017.
- DIONÍZIO D. G. B. **Sódio e potássio: Vilões da água mineral. Uma abordagem analítica e suas aplicações no ensino de química.** Universidade Federal Fluminense, Instituto de Química, Niterói- RJ, 2016.
- GEITTENS, R. M. R.; **Estudo comparativo entre bebidas isotônicas e hidrotônicas.** 2012.
- 47 p. Monografia (graduação). Universidade tecnológica federal do Paraná, Curso de tecnologia em alimentos, 2012.
- GIRONÉS-VILAPLANA, A.; VILLAN, D.; Moreno, D. A.; García-Viguera, C. New isotonic drinks with antioxidant and biological capacities from berries (maqui, açaí and blackthorn) and lemon juice. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, 64(7):897-906, 2013.
- GUBOLINO, S. I. F. **Qualidade físico-química e microbiológica de refrigerantes sabor guaraná em embalagens PET-2000mL e ocorrência de leveduras;** 2007. 71 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, 2007.
- IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 1^a ed. Digital. São Paulo: IAL, 2008.
- INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (2008). Orientação sobre validação de métodos analíticos. DOQ-CGCRE-008. Revisão 05 – Agosto 2016. Disponível em http://www.inmetro.gov.br/credenciamento/organismos/doc_organismos.asp?tOrganismo=C alibEnsaios, acesso em 01 mar 2019.
- LEŚNIEWICZ, A.; GRZESIAK, M.; ŻYRNICKI, W.; BORKOWSKA-BURNECKA, J. Mineral composition and nutritive value of isotonic and energy drinks. **Biological Trace Element Research**.170(2):485-495, 2016.

PETRUS, R. R.; FARIA, J. A. F. Processamento e avaliação da estabilidade de bebidas isotônicas em garrafa plástica; Ciência e Tecnologia de Alimentos.25(3), 518 a 524, 2005.

PIRES, E. G., CARNEIRO, F. G.; MELO, J. B. C. A.; MILANEZ, A. F.; MENDES, A. D. L.; BONAN, P. R. F. Influência do pH de bebidas isotônicas sobre a microdureza de resinas compostas. Arquivos Em Odontologia. 51(3)123-128, 2015.

SALIBA, J. Análise físico-química de bebidas isotônicas comercializadas em Belo Horizonte –MG, TCC (monografia) Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Belo Horizonte, 2019.

SILVA, E. R. Análise fisico-química de bebidas isotônicas comercializadas no município de Ariquemes-RO, Faculdade de Educação e Meio Ambiente, Ariquemes-RO, 2013.

WESCHENFELDER, D.; CONDE, S. R. Consumo de bebidas isotônicas em praticantes de musculação. Revista Brasileira de Nutrição Esportiva. 6(36), 458-463, 2012.

CAPÍTULO 18

OFICINA TEMÁTICA: OBTENÇÃO E APLICAÇÃO DE CORANTES NATURAIS NO

COTIDIANO.

Onofre Vargas Júnior

Mestre em Ciência de Materiais pela Universidade Federal de Mato Grosso
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Iporá.

Endereço: Avenida Oeste, nº 350, Parque União, Iporá-GO.
E-mail: onofrequimico@gmail.com

Karla Nara da Costa Abrantes

Graduada em Química pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Campus Uruaçu Endereço: Rua Formosa, Quadras 28/29, Loteamento Santana, Uruaçu – GO, Brasil
E-mail: karlanara@hotmail.com

Karla Soares Matias

Graduada em Química pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Campus Uruaçu
Endereço: Rua Formosa, Quadras 28/29, Loteamento Santana, Uruaçu – GO, Brasil
E-mail: karlamatias16@gmail.com

Kesley dos Santos Ribeiro

Graduado em Química pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Campus Uruaçu
Endereço: Rua Formosa, Quadras 28/29, Loteamento Santana, Uruaçu – GO, Brasil
E-mail: kesleysantos2010@hotmail.com

RESUMO: Uso de corantes naturais vai além da cor aos alimentos, possuem propriedades benéficas à saúde humana. Os corantes podem ser alternativa ao desperdício de alimentos no lixo e a substituição dos corantes artificiais. As oficinas podem ser usadas nesse contexto para compreender de maneira facilitadora a contextualização dos conceitos acerca do tema, despertando o senso crítico a assuntos do cotidiano das pessoas. Tal trabalho traz uma proposta de oficina temática sobre corantes naturais demonstrando suas formas de obtenção e aplicação. Realizou-se a explicação do tema seguido da aplicação de corantes naturais de jenipapo, urucum e cebola para tingimento de tecidos e de práticas de extração e aplicação de corantes naturais de beterraba, cenoura e repolho roxo como corantes alimentícios. Os processos de extração e de aplicação dos corantes foram satisfatórios. Os participantes ficaram satisfeitos e relataram que os corantes os corantes alimentícios extraídos não interferiram no sabor dos alimentos.

PALAVRA-CHAVE: Corantes Naturais, Obtenção e Aplicação de Corantes, Oficina Temática.

ABSTRACT: Use of natural dyes goes beyond color to foods, possess beneficial properties to human health. Dyes can be an alternative to waste of food in the trash and replacement of artificial dyes. The workshops can be used in this context to understand in a facilitating way the contextualization of the concepts about the subject, awakening the critical sense to subjects of the daily life of the people. This work brings a thematic workshop proposal on natural dyes demonstrating their ways of obtaining and applying them. An explanation of the topic followed by the application of natural dyes of genipap, annatto and onion for dyeing of tissues and of extractive practices and application of natural dyes of beet, carrot and purple cabbage as food colorings were carried out. The extraction and application processes of the dyes were satisfactory. Participants were satisfied and reported that the dyes the food colorants extracted did not interfere in the taste of the food.

KEYWORDS: Natural Colorants, Dye Collection and Application, Thematic Workshop.

1. INTRODUÇÃO

As cores realizam um trabalho indispensável nos alimentos e bebidas, pois além de associarem ao sabor do produto, elas também podem ser um diferencial na

escolha do consumidor. Segundo a ANVISA na Resolução – CNNPA nº 44, de 1977 define corante como uma substância ou uma mistura de substância que possuem a propriedade de conferir ou intensificar a coloração do alimento e bebida. Segundo o Artigo 10 do decreto nº 55871 de 26 de março de 1965, existem três categorias de corantes:

§ 1º Considera-se "corante natural" o pigmento ou corante inócuo extraído de substância vegetal ou animal. § 2º Considera-se "caramelo" o produto obtido, a partir de açucares, pelo aquecimento e temperatura superior ao seu ponto de fusão e ulterior tratamento indicado pela tecnologia. § 3º Considera-se "corante artificial" a substância, corante artificial de composição química definida, obtida por processo de síntese. (Artigo 10 do decreto nº 55871)

De acordo com ARAÚJO (2011), recentemente os corantes artificiais têm sido questionados por certos segmentos da população, e essa tendência, aliada à publicidade contínua e adversa, tem aumentado o interesse pelos corantes de origem natural. A utilização de corantes naturais além de atribuir cor aos alimentos, também possuem propriedades benéficas à saúde humana, ou seja, possuem características funcionais e não só estéticas, como por exemplo, antioxidantes e anti-inflamatórias (SOUZA, 2012).

Um fator relevante a ser considerado na utilização dos corantes naturais principalmente pelo setor industrial e que muitas vezes alguns corantes naturais, além das dificuldades tecnológicas de utilização, são problemáticos devido à falta de informações toxicológicas suficientes. (ARAÚJO, 2011)

Há muitos meios de se extrair corantes naturais, sendo um deles por meio de alguns vegetais, como por exemplo, da beterraba, cenoura, repolho roxo e entre outros que proporcionam tonalidades diferentes de cores. Outro fator de relevância é o uso das cascas desses vegetais para extrair o corante, evitando que as mesmas consideradas inutilizadas fossem diretamente jogadas ao lixo.

De acordo com os dados da Embrapa, 2006, o Brasil joga, anualmente, 26,3 milhões de toneladas de alimentos no lixo. Uma alternativa é usar os talos e cascas, folhas e frutas machucadas e sobras de pão, café, arroz, feijão e entre outros. Assim, além de evitar os desperdícios, com o uso dos corantes naturais, pode-se evitar problemas na saúde decorrentes dos corantes artificiais.

Os corantes na indústria têxtil atual têm por objetivo dar ao tecido uma coloração diferenciada do natural, realizada de forma integral e produzindo efeito único em sua superfície, denominada design de superfície têxtil. (DAMASCENO,

2010). Além disso, algumas flores, frutos, madeiras e entre outros são fontes de corantes naturais que podem ser empregados no tingimento de tecidos.

Neste trabalho foram utilizados os corantes a partir do Urucum, Jenipapo, Cebola, Beterraba, Repolho Roxo e Cenoura. Dentre estes se destacam o Urucum e a Beterraba como sendo um dos principais corantes naturais conforme demonstrado no quadro 1.

Quadro 1: Principais corantes naturais.

Corante	Características	Aplicações
Urucum	Extrato amarelo-alaranjado obtido do pericarpo da semente da planta <i>Bixa orellana L.</i> (URUCUM). O pigmento é constituído basicamente do carotenoide cis-bixina, insolúvel em óleo e que compreende mais de 80% do corante presente na semente.	Massa, molho, sorvete, queijos, recheios, temperos, manteiga, peixes e etc.
Açafrão	Extrato amarelo-ouro extraído de rizomas de <i>curcuma longa L.</i> É insolúvel em água e solúvel em óleos e gorduras. em razão de sua alta intensidade de cor, pequenas quantidades são suficientes para colorir o produto.	Massa, iogurte, produtos de panificação, molhos, margarinas e etc.
Extrato de beterraba	O concentrado de beterraba, de coloração vermelha, é obtido do suco de <i>beta vulgaris ruba</i> . Seu principal cromóforo (75 a 95%) no suco é a betamina. O produto concentrado é solúvel em água e insolúvel em óleo.	Sorvetes, iogurte, molho e etc.
Pimentão vermelho	Obtém-se do <i>Capsicum annum</i> um corante vermelho-alaranjado, pela extração com solventes. o corante é uma mistura complexa, contendo em torno de 50 diferentes pigmentos. Seus principais cromóforos são capsantina e capsorubina (pigmentos vermelhos).	Molhos, maioneses e etc.
Extrato da casca de uva	Extraído com água ou soluções alcoólicas da casca de uva vermelho-escura, este extrato, dependendo da variedade, contém até 25 pigmentos diferentes. A principal cromóforo presente na casca de uva é a mistura complexa de antocianinas: antocianidina (aglicona), açúcar e frequentemente ácidos. São solúveis em água e em mistura de água e álcool, porém insolúveis em óleos e gorduras.	Bolachas, iogurte, panificação.
Cochonilha/Carmim	Cochonila é um corante vermelho extraído do corpo de inseto seco (<i>coccus cati</i>). Esses insetos desenvolvem-se em tipos específicos de cactos encontrados no Brasil. Seu cromóforo principal é o ácido carmínico, sendo o extrato aquoso	

	conhecido como cochonilha.	
--	----------------------------	--

Fonte: (ARAUJO, 2011)

As oficinas compreendem maneiras por meio das quais as pessoas produzem sentidos sobre fenômenos a sua volta e se posicionam e relações sociais cotidianas. Trata-se de uma estratégia facilitadora da troca dialógica e da construção de sentidos. (SPINK, 2014)

Quando se trata de oficinas de ensino, normalmente envolverem experimentações, além de outras estratégias visando relacionar ao cotidiano. pode-se atribuir às oficinas outros benefícios como: tornar os conhecimentos químicos mais significativos e aplicáveis ao dia a dia das pessoas; despertar o senso crítico; a capacidade de relacionar eventos; capacidade de discutir assuntos antes, durante e após a realização das mesmas; a interação entre os alunos; a capacidade de argumentar e refletir. Ainda nas oficinas de ensino, o cotidiano é problematizado e revisitado abordando-se questões de ordem social, histórica e ética, que auxiliam a compreensão dos assuntos abordados (Winkler, 2016)

A abordagem temática, nessa proposição metodológica, não é entendida como apenas um pretexto para a apresentação de conteúdos químicos. Tampouco se restringe a fornecer informações sobre processos produtivos, tecnológicos ou usos que a sociedade vem fazendo de materiais. Trata-se de abordar dados, informações e conceitos para que se possa conhecer a realidade, avaliar situações e soluções e propor formas de intervenção na sociedade (MARCONDES et al., 2008).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi proporcionar uma oficina sobre corantes naturais e suas aplicações em corantes de alimentos e tecidos, apresentando os processos de extração dos mesmos e uso dos mesmos demonstrando a relevância da química no cotidiano.

2. METODOLOGIA

O minicurso foi realizado no evento da quinta Semana de Ciência e Tecnologia (V SECITEC), ano de 2016, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás Campus Uruaçu, no qual a temática do evento era “Ciência Alimentando o Brasil”. O mesmo ocorreu em dois momentos, sendo uma etapa realizada no laboratório de Química e a outra etapa em uma sala ao lado.

A aplicação e análise desta oficina articulou-se a uma pesquisa exploratória

que segundo Pronadov (2013) tem por finalidade proporcionar mais informações sobre o assunto de investigação possibilitando uma definição de forma a orientar a fixação dos objetivos e a formulação de hipóteses através da análise de exemplos que estimulem a compreensão.

A oficina contou com público aleatório através de inscrição no evento e posteriormente inscrição na oficina limitado a 15 pessoas. O desenvolvimento foi programado em três momentos: aula teórica, uso de corantes para tingimento de tecidos e extração de corantes naturais e uso em alimentos.

No primeiro momento, no laboratório de Química, realizou uma explicação teórica sobre definição de corantes, os principais corantes naturais, sendo eles: extrato de beterraba, açafrão, urucum, pimentão vermelho, extrato da casca da uva e a cochonilha, bem como os principais processos de extração de corantes naturais e suas principais aplicações no cotidiano. Para este momento gastou-se cerca de 50 minutos.

No segundo momento o público realizou o tingimento de tecidos brancos (100% algodão), no qual foi disponibilizado três tipos de corantes naturais, da semente do urucum, do fruto do jenipapo e da casca da cebola. Para o tingimento dos tecidos, os mesmos utilizaram o método quente de tingimento, uma vez que, mergulharam o tecido nos corantes naturais e deixaram por volta de 25 minutos aquecendo em uma chapa aquecedora.

No terceiro momento em uma sala de aula ao lado do laboratório o público foi dividido em três grupos, no qual cada grupo ficou responsável pela extração de corante natural dos seguintes vegetais: beterraba, cenoura e repolho roxo. Para a extração do corante natural da beterraba e da cenoura, cortaram-se as mesmas juntamente com a casca e bateram no liquidificador com um pouco de água até formar um “purê”, conforme figura 01, em seguida passou-se a mistura numa peneira para obter o “caldo” e logo após levaram para aquecer em fogo baixo até reduzir na tonalidade desejada conforme visto na figura 02. Para extração do corante de repolho roxo, cortaram o mesmo em pedaços menores e levaram ao fogo deixando ferver por cerca de 10 minutos, após retiraram as folhas e acrescentou um pouco de bicarbonato de sódio para obter uma coloração azul marcante.

Figura 1: Extração de corante natural a partir da Beterraba.



Fonte: Os autores.

Figura 2: Caldo da extração de corante natural a partir da Beterraba.



Fonte: Os autores.

Após a obtenção das soluções coloridas obtidas dos corantes naturais, cada grupo deveria incorporar a sua solução ao Chantilly Comercial (cor branco) até atingir a coloração desejada e posteriormente usá-lo para confeitar os cupcakes levados prontos pelos ministrantes. Posteriormente foi demonstrado a todos a confecção de uma tapioca “roxa”, uma tapioca tradicional com corante de beterraba para tonificar a massa. Finalizaram a oficina com a degustação dos cupcakes por eles decorados e da tapioca roxa com recheios de queijo ou chocolate. Após o minicurso, aplicou-se um questionário aos participantes para investigar a experiência com esta oficina.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a aula teórica, todos os questionamentos foram sanados e deu-se início a explicação da extração dos corantes de da semente do urucum, do fruto do jenipapo e da casca da cebola posteriormente foi realizado o processo de tingimento, realizado em 3 grupos, sendo um grupo para cada corante natural. Os tingimentos dos tecidos foram realizados com sucesso, uma vez que as tinturas a quente oferecem melhores resultados que as realizadas a frio.

Temperaturas elevadas e banhos prolongados possibilitam melhor

impregnação nas fibras têxteis. (DAMASCENO, 2010).

O tecido pigmentado com o corante natural extraído do fruto do jenipapo teve uma coloração azul claro, a tinta provém do sumo do fruto verde a substância corante, chamada genipina, a mesma perde o efeito corante com o amadurecimento do fruto, (DAMASCENO, 2010),

O tingimento usando o corante natural da casca da cebola, a coloração final foi um amarelo claro, a tonalidade clara é devido a concentração da tinta. A cebola possui compostos organossulfurados também são responsáveis pela pungência, sabor e aroma característicos destas espécies. Dentre os flavonoides, destaca-se a quercetina na cebola pela sua ação antioxidante e responsável pela cor amarelo-castanho (BROTEL, 2012)

O tecido pigmentado com o corante natural extraído do Urucum, obteve-se uma coloração alaranjada, a tinta foi extraída a partir das sementes do fruto. O Urucum possui um corante avermelhado, que é usado pelos indígenas tanto com aplicação medicinal, quanto como ornamento e proteção contra insetos, em forma de pintura sobre a pele. (EMBRAPA, 2009).

No terceiro momento, obteve-se os corantes naturais a partir da beterraba, da cenoura e do repolho roxo. Solução corante (caldo) da beterraba apresentou uma coloração avermelhada intensa, a cenoura apresentou uma coloração amarela clara e do repolho roxo apresentou uma cor azul escura. Utilizou-se então esses corantes naturais para incorporar e colorir o chantilly, e posteriormente foram utilizados para decorar os cupcakes.

Figura 3: Participantes decorando os Cupcakes com a mistura de corante natural com Chantilly.



Fonte: Os autores.

Pode-se observar na Figura 03 que foram obtidas 3 colorações distintas, sendo

a coloração amarela derivada da mistura do caldo de cenoura com chantilly, a coloração rosa derivada da mistura do caldo da beterraba com o chantilly e a coloração azul-claro derivado da mistura do caldo do repolho roxo com o chantilly, e por cima foi adicionado granulado para decoração. Ao final da oficina foi degustado os cupcakes, e os participantes relataram que apesar das cores derivadas das misturas a cobertura a base de chantilly e corante não apresentou o gosto de nenhum dos alimentos usados.

Figura 4: *Cupcakes* decorados com corantes naturais.



Fonte: Os autores.

Foi demostrado aos participantes o uso do corante natural da beterraba para coloração da tapioca, podendo desta forma variar a coloração da mesma dependendo do corante a se utilizar. Foi utilizado polvilho tradicional e ao invés de se utilizar água para se dar liga ao polvilho, utilizou-se o caldo da beterraba posteriormente peneirado e colocado na frigideira e recheado com queijo ou chocolate, conforme se pode observar na figura 5.

Figura 5: Tapioca colorida de roxo utilizando corante natural de beterraba.



Fonte: Os autores.

E ao final da oficina enquanto os participantes degustavam os pratos demonstrados foi aplicado um questionário afim de investigar e avaliar sua participação na oficina. Os participantes responderam a 2 perguntas: 01) Entre os corantes naturais expostos, qual você mais apreciou? Justifique.; 02) A oficina atendeu suas expectativas iniciais? Por que?

Pudemos observar uma semelhança entre as respostas obtidas e destacamos as respostas dos participantes conforme se observa no quadro 2.

Quadro 2: Principais respostas obtidas.

Participante	Pergunta 01	Pergunta 01
A	“O de beterraba, pois além de utilizar algo que faz muito bem para a saúde, dá para aproveitar das vitaminas sem sentir o gosto dela, dá uma coloração muito bonita”.	“Sim, pois aprendi a fazer corantes naturais de coisas simples do nosso dia-a-dia.”
B	“Acho que não tenho um em especial. Adorei todos”.	“Sim, superou minha expectativa, pois não só explicou como ensinou a fazer.”

Fonte: Os autores.

Portanto podemos perceber que a relação da aplicação da química presente no cotidiano traz interesse por fenômenos presentes em nossa rotina e como podemos utilizar o conhecimento sobre corantes. Conforme Spink (2014), Winkler (2016) e Marcondes (2008), a oficina traz para o participante condições da construção do conhecimento acerca da realidade que o indivíduo se faz presente. A demonstração da utilização de alimentos ou parte de alimentos que podem ser utilizados como corantes naturais para tingimento de roupas ou como corantes alimentícios traz uma visão diferente para seu cotidiano.

4. CONCLUSÕES

Esta foi uma oficina rápida, como parte de um evento científico tecnológico, de curta duração com aproximadamente 04 horas, na qual tratou-se de uma abordagem relevante para o cotidiano do participante tratando-se de corantes naturais. A participação e o interesse dos mesmos foram significativos para o bom

desenvolvimento da proposta, bem como, os mesmos se demonstraram a todo momento animados, surpresos acerca da temática.

Foi possível explicar, demonstrar e instigar os participantes sobre processos para extração de corantes naturais a partir de alimentos do nosso cotidiano. Foram mostrados a eles algumas das aplicações destes corantes e dos benefícios que os mesmos podem trazer a sociedade, tais como redução do lixo, substituição dos corantes artificiais para o benefício da saúde.

Todos processos de extração propostos foram executados com sucesso. O processo de tingimento de tecidos não ocorreu a coloração conforme o planejado e acreditamos que para se ter o resultado adequado, para que de fato apresente uma cor no tecido deva-se deixar por mais tempo a imersão do tecido no corante.

A utilização dos corantes naturais como corantes alimentícios foi o ponto da oficina que despertou maior interesse, participação e curiosidade dos participantes, pois foi possível realizar a extração do corante, realizar a aplicação dele como corante alimentício e ainda realizar a degustação. Os participantes relataram que a adição dos corantes naturais não alterou o sabor dos alimentos degustados. Relataram ter ficado satisfeitos com a proposta da oficina pois permitiram a eles um conhecimento de mundo e cotidiano de forma interativa e divertida. Portanto acreditamos que a aplicação desta oficina para demonstração sobre os corantes naturais foi satisfatória e pode ser utilizada para relacionar conceitos teóricos com a prática e o cotidiano dos participantes, além de ser uma oficina na qual os participantes se permitem a confraternização ao final com a degustação do resultado de seu trabalho.

Acreditamos no potencial desta oficina para o despertar do conhecimento científico.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos: teoria e prática**. 5. ed. Viçosa, MG, 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos. Resolução n. 44, 1977. Estabelece condições gerais de elaboração, classificação, apresentação, designação, composição e fatores essenciais de qualidade dos corantes empregados na produção de alimentos e bebidas e revoga as Resoluções 20/70 e 8/72. (Ementa elaborada pelo CD/MS). Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 02 fev. 1978. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/44_77.htm>. Acesso em: 14 de agosto de 2017.

BROTEL, N.; OLIVEIRA, V.R. Cultivares de cebola e alho para processamento. In: Congresso Brasileiro de Olericultura, 52. Horticultura Brasileira, 2012. Disponível em:

<<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/940923/1/PAL41CBO522012.pdf>>
Acessado em 14 de agosto de 2017.

DAMASCENO, S. M. B.; SILVA, F. T. F.; FRANCISCO, A. C.; Sustentabilidade do processo de tingimento do tecido de algodão orgânico. In: XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: Maturidade e desafios da Engenharia de Produção: competitividade das empresas, condições de trabalho, meio ambiente. São Carlos, SP, 12 a 15 de outubro de 2010.

MARCONDES, M. E. R. Proposições metodológicas para o ensino de química: oficinas temáticas para a aprendizagem da ciência e o desenvolvimento da cidadania. **Revista Em Extensão**, Uberlândia, v. 7, p. 67-77, 2008

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **METODOLOGIA DO TRABALHO CIENTÍFICO: Métodos e Técnicas de Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. 277 p. Disponível em: <<http://www.feevale.br/Comum/midias/8807f05a-14d0-4d5b-b1ad-1538f3aef538/E-book Metodologia do Trabalho Científico.pdf>>. Acesso em: 14 ago. 2017.

REVISTA-FI, Dossiê Corantes CORANTES. São Paulo. N. 39, 2016. Disponível em: <http://revista-fi.com.br/upload_arquivos/201612/2016120320277001480616337.pdf>
SOUZA, Rosilane Moreth de. **Corantes naturais alimentícios e seus benefícios à saúde**. Rio de Janeiro 2012. Disponível em: <<http://www.uezo.rj.gov.br/tccs/ccbs/Rosilane Moreth de Souza.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2017.

SPINK, M. J., Menegon, V. M., & Medrado, B. (2014). Oficinas como estratégia de pesquisa: articulações teórico-metodológicas e aplicações ético-políticas. *Psicologia & Sociedade*, 26(1), 32-43.

WINKLER Manuel E G.; DE, Souza João R. B.; Z., Sá Marilde B.Z. A utilização de uma oficina de ensino no processo formativo de alunos de ensino médio e de licenciandos. **Química Nova na Escola**, [s.l.], p.27-34, ago. 2017. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160057>.

CAPÍTULO 19

ANÁLISE DOS COMPOSTOS VOLÁTEIS PRESENTES EM BEBIDAS ISOTÔNICAS COMERCIALIZADAS EM BELO HORIZONTE-MG

Ana Clara Manini Soutelo

Graduanda em Química Tecnológica

Instituição: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – MG

Endereço: Av. Amazonas, 5253 – Nova Suiça – Belo Horizonte – MG, CEP: 30421169, Brasil

E-mail: clara_manini@hotmail.com

Letícia Fraga Ferreira

Discente do curso técnico em Química

Instituição: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – MG

Endereço: Av. Amazonas, 5253 – Nova Suiça – Belo Horizonte – MG, CEP: 30421169, Brasil

E-mail: leticia2910.fraga@gmail.com

Jéssica Saliba

Graduada em Química Tecnológica

Instituição: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – MG

Endereço: Av. Amazonas, 5253 – Nova Suiça – Belo Horizonte – MG, CEP: 30421169, Brasil

E-mail: gsik_jessica@hotmail.com

Ana Maria de Resende Machado

Doutora em Ciência dos Alimentos

Instituição: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – MG

Endereço: Av. Amazonas, 5253 – Nova Suiça – Belo Horizonte – MG, CEP: 30421169, Brasil

E-mail: anamariaderesendemachado@gmail.com

Fátima de Cássia Oliveira Gomes

Doutora em Microbiologia

Instituição: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – MG

Endereço: Av. Amazonas, 5253 – Nova Suiça – Belo Horizonte – MG, CEP: 30421169, Brasil

E-mail: fatimaog@cefetmg.br

RESUMO: As bebidas isotônicas são consumidas para repor eletrólitos, mas seu sabor básico desagrada aos consumidores. Logo, a adição de flavorizantes agrega ao produto elementos nutritivos além de realçar o sabor e o aroma, devido aos compostos voláteis que são responsáveis por esta característica. Assim, é importante analisar estes componentes para avaliar a qualidade das bebidas. A cromatografia gasosa é a técnica mais indicada para esta análise, mas por tratar-se de amostras aquosas é necessário realizar um tratamento prévio antes da análise. Empregou-se técnicas que minimizam o uso de solventes e a geração de resíduos. Amostras de marcas e sabores diferentes foram submetidas a Microextração Líquido-Líquido Dispersiva (DLLME) adicionando-se 0,5 mL de acetato de etila, com 0,3 mL de acetona em 5 mL de amostra contendo 0,2 g de cloreto de sódio. Agitou-se a mistura em vortex, centrifugou-a e submeteu-se a fase orgânica à análise por GC-MS. As análises revelaram como principais compostos voláteis: limoneno, butanoato de etila, α -terpineol, β -Linalol, β -terpineol, 1- terpien-4-ol, ácido sórbico e o ácido benzoico. A presença do limoneno fornece um aroma frutal e inibe o crescimento microbiano nas bebidas. O α -terpineol, apresenta ação aromatizante, antioxidante e antimicrobiano. O ácido sórbico é conhecido como inibidor de bolores e leveduras, além de possuir eficiência antimicrobiana, possuindo ação conservante. O butanoato de etila, encontrado em sucos de maracujá, é responsável pelo aroma típico dessa fruta. As técnicas empregadas permitiram avaliar o perfil dos constituintes voláteis responsáveis pelo aroma e sabor destas bebidas, mostrando que uma mesma marca

apresentou compostos comuns para diferentes sabores e bebidas de mesmo sabor e de marcas diferentes mostraram também componentes semelhantes.

PALAVRAS-CHAVE: Bebidas isotônicas; DLLME; GC-MS

ABSTRACT: Isotonic drinks are consumed to replete electrolytes, but their basic taste displeases consumers. Flavorings are responsible for the flavor of the drink due to the volatile compounds present. Thus, it is important to analyze these components to assess the quality of beverages. Gas chromatography is the most suitable technique for this analysis, but as the samples are aqueous pre-treatment is required before analysis. Techniques that minimize the use of solvents and the generation of waste were employed. Samples of different brands and flavors were subjected to Dispersive Liquid-Liquid Microextraction (DLLME) by adding 0.5 mL of ethyl acetate with 0.3 mL of acetone in 5 mL of sample containing 0.2 g of sodium chloride. The mixture was vortexed and centrifuged and the organic phase was subjected to GC-MS analysis. The analyzes revealed as main volatile compounds: limonene, ethyl butanoate, α -terpineol, β -Linalol, β -terpineol, 1-terpien-4-ol, sorbic acid and benzoic acid. The presence of limonene provides a fruity aroma and inhibits microbial growth in beverages. The α -terpineol has a flavoring, antioxidant and antimicrobial action Ethyl butanoate, found in passion fruit juices, is responsible for the typical aroma of this fruit. The techniques employed allowed to evaluate the profile of volatile constituents responsible for the flavor of these beverages, showing that drinks of the same flavor and different brands showed similar components.

KEYWORDS: Isotonic drinks; DLLME; GC-MS

1. INTRODUÇÃO

Os atletas em treinamento ou competição perdem eletrólitos significativamente, desse modo, as bebidas isotônicas que são repositores hidroeletrolíticos foram desenvolvidas com o objetivo de restituir essas perdas (ANVISA, 2010). Em 2011 a produção de isotônicos foi de 106.211 litros, entretanto, em 2017 houve um decréscimo representativo para 83.620 litros. Embora a produção tenha decrescido, seu consumo *per capita* apresentou-se estável com uma variação de 0,4 a 0,6 litros/habitantes/ano, entre 2010 e 2017 (ABIR, 2018).

Água, açúcar, conservantes, acidulantes, antioxidantes, aromatizantes,

corantes e eletrólitos são os constituintes das bebidas isotônicas. As substâncias que quando dissociadas em um solvente adequado, geralmente a água, formam cátions e ânions que são denominados eletrólitos. Os metais sódio (Na) e potássio (K) são os eletrólitos presentes nestas bebidas (VENQUIADUTO; DALLAGO,2018).

O constituinte em maior proporção é a água, e esta deve apresenta-se incolor, inodora, livre de íons de ferro ou seus compostos, livre de cloro ou microrganismos e baixa alcalinidade. De modo que, não contribua para adulteração da estabilidade, aparência e sabor dos isotônicos (VENQUIADUTO; DALLAGO,2018).

Os açúcares devem conter, no mínimo, dois monossacarídeos, em geral a glicose e frutose, esta possui uma absorção lenta sendo preciso que seja utilizada moderadamente. Além desses, deve possuir sacarose e outro dissacarídeo (VENQUIADUTO; DALLAGO,2018).

Os conservantes são adicionados porque retardam a degradação por agentes microbianos e enzimas. O benzoato de sódio e o sorbato de potássio são os mais empregados em bebidas isotônicas, uma vez que, possuem alta solubilidade e controle de fungos e leveduras, entretanto o segundo apresenta um custo maior que o benzoato de sódio (VENQUIADUTO; DALLAGO,2018).

Os acidulantes são empregados com o objetivo de aumentar o sabor ácido dos alimentos, uma vez que, controlam o pH, valorizando o aroma e sabor. Além disso, sequestram íons metálicos e possuem atuação antimicrobiana. Os ácidos cítrico e tartárico são utilizados com frequência em bebidas (VENQUIADUTO; DALLAGO,2018).

Os antioxidantes possuem a função de aumentar o tempo de prateleira dos alimentos e melhorar a estabilidade dos aromas, uma vez que, inativam os radicais livres e formam complexos com os íons metálicos. O antioxidante mais utilizado na produção dos isotônicos é o ácido ascórbico, que reduz a oxidação ao interagir com o oxigênio e metais (VENQUIADUTO; DALLAGO,2018).

Os corantes colorem ou intensificam a cor dos alimentos. Nas bebidas isotônicas, utilizam-se corantes artificiais, uma vez que, possuem maior poder de tintura e agregam ao produto maior estabilidade. Geralmente são empregados: o amarelo-tartrazina, amarelo-crepúsculo, amaranto ou Bordeaux (VENQUIADUTO; DALLAGO,2018).

Os aromatizantes agregam as bebidas um aroma característico por possuírem

propriedades sápidas que são responsáveis por criar sabores inexistentes e reforçar, substituir ou mascarar os existentes. Sucos e extratos naturais, emulsões, óleos essenciais e aromas artificiais são compostos voláteis empregados nos isotônicos como aromatizantes (VENQUIADUTO; DALLAGO, 2018).

A Cromatografia Gasosa é uma técnica instrumental empregada para separar e identificar substâncias orgânicas que podem ser vaporizadas sem se decompor. Sendo utilizada, frequentemente, para avaliar a pureza de um composto e separar os componentes de uma mistura (ENGEL *et al.*, 2011).

Tomando como base a determinação de massas molares de determinadas substâncias presentes em uma matriz complexa, a Espectrometria de Massas (EM) é um processo analítico que revela as fórmulas moleculares destas substâncias. Os resultados são revelados em um espectro de massas, um gráfico, cujo eixo das coordenadas tem relação com a abundância dos íons produzidos e são analisados pela ordem crescente de sua relação massa/carga. Sob uma mesma condição, as fragmentações de um composto são idênticas, podendo ser utilizado para caracterizar a substâncias (ROUESSAC; ROUESSAC, 2007).

A Microextração Líquido-Líquido dispersiva (DLLME) é um método de preparo de amostra baseado em um diagrama de fases ternário que utiliza três solventes: um solvente dispersor, miscível no solvente extrator (fase orgânica) e na amostra (fase aquosa), e um solvente extrator imiscível na fase aquosa. A extração ocorre por partição quando a mistura de solvente é injetada na amostra, que é, posteriormente, submetida a centrifugação. O solvente extrator sedimentado no fundo do tubo é recolhido e analisado (MARTINS *et al.*, 2012). Assim, neste estudo extraiu os compostos voláteis presentes em bebidas isotônicas por meio da DLLME, e analisou-os por GC-MS.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Vinte e duas amostras de bebidas isotônicas foram analisadas e divididas segundo suas marcas e sabores em A, B, C, D e E. Aquelas que apresentaram mais de uma amostra de mesmo sabor e mesma marca foram numeradas.

Realizou-se a DLLME adicionando 0,5 mL de acetato de etila com 0,3 mL de acetona em 5 mL de amostra contendo 0,2 g de cloreto de sódio. A mistura foi submetida ao *vortex* durante um minuto e posteriormente centrifugada por dois

minutos. Em seguida, extraiu-se o sobrenadante.

Uma vez separadas as frações, a fase orgânica foi analisada por Cromatografia Gasosa (Agilent Technologies 7890A GC) empregando-se as seguintes condições: a temperatura do forno foi programada a partir de 50 até 200°C. Um microlitro de cada fração foi injetado em modo *splitless* 50 mL/min com tempo de equilíbrio de um minuto. A coluna utilizada foi uma coluna HP5-MS (30 m de comprimento, 0,25 mm de diâmetro interno e um filme de 0,25 m de espessura). Os espectros de massas foram obtidos em equipamento Agilent 5975C.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O cromatograma representado na figura 1 retrata um modelo típico representando os resultados obtidos de alguns sabores de cada marca. Observou-se que o método e as condições utilizadas permitiram uma boa separação das substâncias e que em diversas amostras foi identificado um pico proeminente próximo a 12 min referente a uma substância majoritária.

Ao analisar a marca A, percebe-se que para os sabores limão, laranja e tangerina o composto majoritário foi o α -terpineol. Já para os sabores morango-maracujá e maracujá o composto majoritário foi o acetato de estirilila, que eluiu antes do α -terpineol, desta forma ambos eluem com tempo de retenção próximos a 12 minutos.

O limoneno, com tempo de retenção próximo a 9,0 min, apresentou-se como substância majoritária apenas para a amostra sabor de frutas cítricas. O sabor uva teve como composto majoritário o acetato de mentila. Tanto o metol quanto o acetato de metila foram compostos exclusivos da marca A sabor uva. O butanoato de etila foi comum nas amostras de sabor uva.

Com relação a marca B, em todos os sabores o composto majoritário foi o ácido benzoico. Este composto foi o primeiro conservante a ser aprovado pela *Food and Drug Administration* (FDA). Trata-se de uma substância de baixo custo, sendo por isso mais utilizados na indústria alimentícia, assim como seus sais (FANI *et al*, 2015). Apesar de ter sido identificado na análise cromatográfica, o conservante empregado na formulação da marca B foi o benzoato de sódio. Estudos indicam que o ácido benzoico é mais eficaz na ação antimicrobiana em relação ao seu sal, entretanto o benzoato de sódio é cerca de duzentas vezes mais solúvel em meio aquoso. Logo, torna-se mais

utilizado pela indústria alimentícia (BILAU *et al.*, 2008). Neste trabalho, a identificação do ácido benzoico foi provavelmente devido a hidrólise do sal em meio aquoso, onde o íon benzoato reage com a água e forma o ácido benzoico, estabelecendo um equilíbrio químico entre as espécies.

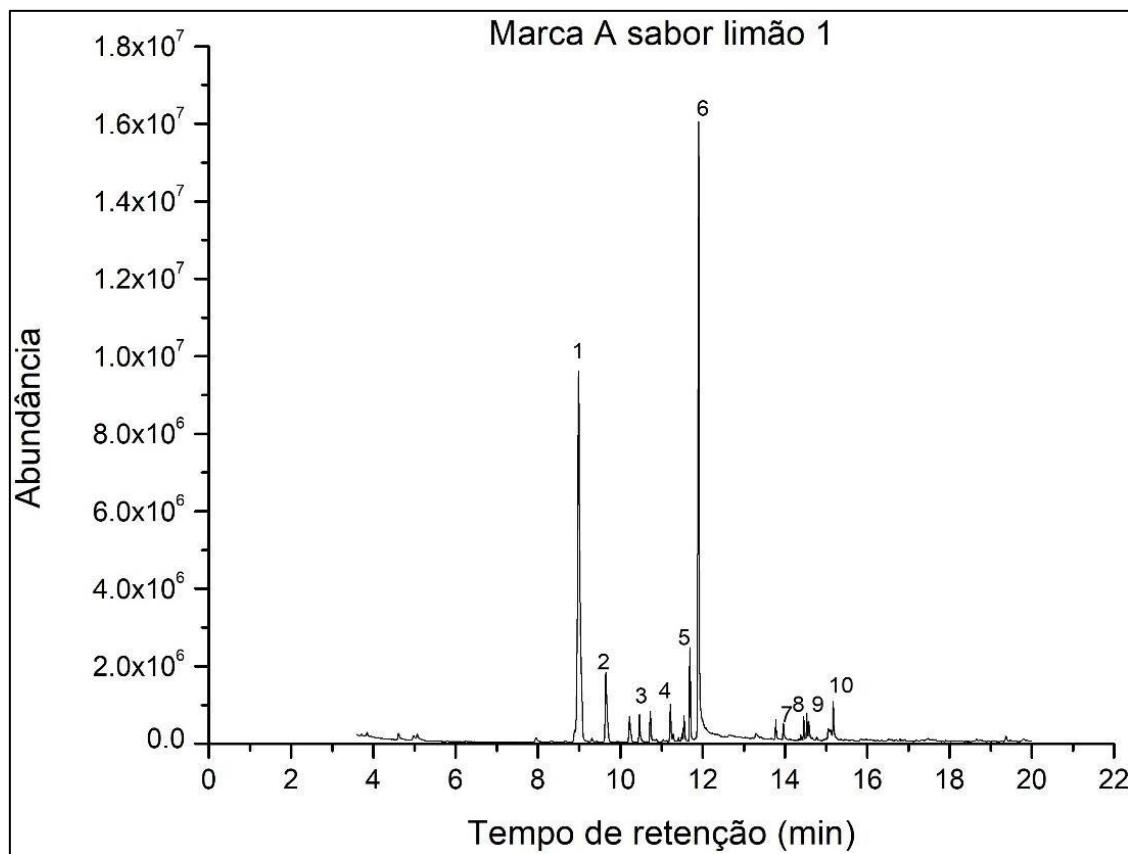
Na marca C, identificou-se, respectivamente, para o sabor uva e mix de frutas o antranilato de metila e o α -terpineol.

No rótulo da bebida da marca D consta a presença do conservante sorbato de potássio, e o ácido sórbico foi o composto majoritário identificado nesta amostra. Da mesma forma que o benzoato de sódio, o sorbato de potássio pode sofrer hidrólise em meio aquoso, e as espécies químicas formadas, estabelecerem um equilíbrio, justificando a presença do ácido sórbico. O ácido sórbico e seus sais são utilizados como conservante de alimentos, por não interferir no sabor e ser fisiologicamente inócuo (GONZÁLEZ-FANDOS; DOMINGUEZ, 2007).

Identificou-se o α -terpineol como composto majoritário do sabor limão da marca E, enquanto para o sabor uva verde, o composto majoritário foi o antranilato de metila. Este composto é muito utilizado como aromatizante sintético de alimentos, pois confere aroma e sabor de uva (LUO *et al.*, 2019). Também foi um composto comum nas amostras sabor uva, exceto na marca A. Observou-se que o α -terpineol foi o composto majoritário em todas as amostras de sabor limão com exceção da amostra da marca B. Os sabores iguais de mesma marca apresentaram os mesmos compostos majoritários e sabores iguais de marca distintas não apresentaram os mesmos compostos majoritários.

A figura 1 representa o cromatograma da amostra da marca A sabor limão 1, os picos numerados são dos compostos majoritários e seus respectivos nomes estão listados na tabela 1.

Tabela 1: Cromatograma da amostra referente a marca A sabor limão 1.



Fonte: Os autores.

Todas as substâncias identificadas para cada amostra e que foram majoritárias estão reunidas na tabela 1.

Tabela 1: Compostos majoritários identificados nas amostras de bebidas isotônicas.

Substância/Pico	Marca A												Marca B				Marca C			Marca D			Marca E				
	Uva	MM	MM2	Li	Li 2	FC 1	Tang	Lar	Mar	Mar 1	12	MM	Lar	Mar	Li	MF	Uva 1	Uva 2	Tang	Li 1	Li 2	Li 3	UV	Total			
Butanoato de etila	X	X	X					X	X	X		X		X		X	X	X					X	12			
β -Linalol ³		X	X	X	X	X	X					X	X	X					X					10			
α -terpineol ⁶				X	X	X	X	X				X		X	X				X	X	X	X		12			
β -terpineol ⁴				X	X	X	X	X				X	X		X				X	X				10			
1-terpinen-4-ol ⁵				X	X	X	X	X				X		X	X				X	X				10			
Limoneno ¹				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X		16			
β -bisaboleno ¹⁰				X	X										X					X	X	X			6		
γ -terpineno ²				X	X										X				X	X	X				6		
β -ionona	X	X						X	X					X												5	
γ -decalactona	X	X										X			X											4	
Cimeno				X	X		X								X											4	
Ácido sórbico												X	X	X	X				X	X	X	X	X		8		
Ácido benzólico												X	X	X	X				X	X	X	X	X		8		
Cariofileno ⁸				X	X	X	X	X											X	X	X				7		
Hexanoato de etila	X	X										X	X	X	X	X										7	
Acetato de estirilila	X	X										X	X	X											X	6	
Bergamoteno ⁹				X	X										X					X	X	X				6	
Butanoato de hexila	X	X										X	X	X	X											6	
Butanoato de 3-hexenila	X	X										X	X	X	X											6	
Acetato de geranila ⁷				X	X										X					X	X	X				6	
Cis-cinamato de metila	X	X												X	X		X									5	
3-hexen-1-ol	X	X												X											X	4	
Hexanoato de hexila												X	X	X	X											4	
2-furametanol												X	X	X	X											3	
Copaeno								X	X	X																3	
Antranilato de metila																	X	X						X	3		
Mentol	X																										1
Acetato de mentila	X																										1
4- (4-hidroxifenil)-2-butanonona																		X	X								2
Butirato de 1-metil-1-p-toluietila																		X	X								2
Total	3	10	10	11	11	7	8	7	9	9	12	7	12	11	8	4	4	4	11	11	9	6					

Fonte: Os autores.

Legenda: X representa a substância identificada. MM -morango-maracujá, Li- limão, FC- frutas cítricas, Tang- tangerina, Lar- laranja e Mar- maracujá, MF- mix de frutas. UV – uva verde. Os números sobreescrito em determinadas substâncias correspondem aos picos referente ao cromatograma da figura 1.

As bebidas de sabor morango-maracujá, limão e maracujá, foram as amostras que apresentaram o maior número de compostos em média, respectivamente, 10,7, 10,5 e 10. Observou-se que os seis compostos mais voláteis estiveram presentes em maiores quantidades em amostras de diferentes marcas e sabores sendo o limoneno (16), butanoato de etila (12), α -terpineol (12), β -Linalol (10), β -terpineol (10) e 1-terpen-4-ol (10). O limoneno não foi identificado nas amostras sabor uva e nas duas amostras morango-maracujá da marca A. Esta substância fornece um aroma frutal e inibe o crescimento microbiano, sendo encontrado em frutas cítricas, principalmente, em cascas de limão e laranja. Por suas características, é amplamente empregado como flavorizante pela indústria, para aquisição do sabor artificial de menta e na confecção de doces e chicletes (SANTOS, 2013). Já o butanoato de etila é normalmente encontrado no maracujá, sendo responsável pelo aroma típico desta

fruta (NAIRAN *et al.*, 2004). O β -linalol encontra-se em óleos essenciais cítricos, possui um aroma floral e propriedades inseticidas (SANTOS, 2013). O terpineol é um monoterpeno e pode ser encontrado em óleos essenciais de diversas plantas, como orégano e alecrim e está presente em grandes proporções no óleo essencial da casca de limão. O α -terpineol, já foi identificado em chás, utilizado como aromatizante, antioxidante e antimicrobiano. O 1-terpinen4-ol, possui aroma e sabor doce e foi detectado em folhas de tangerina. Além disso, apresenta ação antibacteriana, antiviral e anti-inflamatória. Em geral os terpineóis são utilizados em perfumes, cosméticos, produtos de limpeza e aromatizantes para alimentos e bebidas (KHALEEL; TABANCA; BUCHBAUER, 2018).

O ácido sórbico e o ácido benzóico foram identificados em oito amostras da bebida. Estes compostos são empregados como conservantes, inibem o crescimento de fungos e leveduras, além, de inúmeras bactérias (MACHADO, 2007). Ao analisar o rótulo dos frascos das bebidas notou-se que as marcas B e E contém benzoato de sódio e sorbato de como conservante, a marca D apresenta o sorbato de potássio, já as marcas A, e C, não consta em seus rótulos nenhum destes conservantes.

Ao comparar as amostras de sabor maracujá (marca A e B), percebe-se que, foram identificados em média dez compostos, destes, sete foram comuns entre elas, sendo butanoato de etila, limoneno, β -ionona, hexanoato de etila, butanoato de hexila, ácido butanóico éster 3-hexenílico e hexanoato de hexila. Identificou-se um maior número de compostos na marca B (12) em relação a marca A (9). Não houve variação entre o número de compostos identificados e as amostras de maracujá da mesma marca, considerando os componentes majoritários.

Contabilizou-se em média 10,5 compostos identificados nas bebidas de sabor limão (marcas A, B e E), destes cinco apresentaram-se em todas as amostras, sendo o α -terpineol, limoneno, β - bisaboleno, γ -terpineno e bergamoteno. As amostras da marca E, apresentaram componentes iguais, com exceção do β -terpineol e do 1-terpinen-4-ol, que não foram identificados na amostra L3.

Nas bebidas isotônicas de sabor laranja (marca A e B), identificou-se sete compostos, destes quatro são comuns entre as amostras, sendo α -terpineol, β -terpineol, 1-terpinen4-ol e limoneno. Somente na marca A foi observado a presença do butanoato de etila, 2-furamentol e copaeno. Entretanto, apenas na marca B foi identificado o β -linalol, ácido sórbico e benzóico.

Nas bebidas de sabor morango-maracujá (marca A e B) foram identificados em média 10,7 substâncias, dentre essas oito são comuns entre as amostras, sendo butanoato de etila, γ -decalactona, hexanoato de etila, acetato de estirilila, butanoato de hexila, butanoáto de 3-hexeníla, cis-cinamato de metila e 3-hexen-1-ol. A β -ionona e o β -linalol foram identificados apenas na marca A, enquanto que, limoneno, ácido sórbico e benzoico, e hexanoato de hexila foram encontrados apenas na marca B.

As bebidas de sabor tangerina mostraram uma grande diferença no número de compostos identificados entre as marcas. Na bebida da amostra D, somente quatro compostos foram identificados, sendo β -linalol, α -terpineol, limoneno e o ácido sórbico, sendo os três primeiros comuns nas duas amostras. Nas bebidas da marca A foram identificados também o β -terpineol, 1- terpinen4-ol, cimeno, cariofileno e copaeno.

A β -ionona foi identificada somente nas bebidas de maracujá e morango-maracujá, portanto pode se tratar de um marcador para esta essência. Oliveira colaboradores (2012) extraíram e identificaram compostos voláteis presentes em maracujá, dentre os compostos majoritários identificados, destaca-se a β -ionona, substância natural do fruto de maracujá.

O limoneno esteve presente nas diferentes marcas de sabor limão, frutas cítricas, tangerina, laranja, maracujá e morango-maracujá, mas não foi identificado nas bebidas de sabor uva. A γ - decalactona, foi encontrada exclusivamente nas bebidas sabor morango-maracujá e mix de frutas, logo, pode se tratar de um marcador para estas essências.

As lactonas constituem um grupo de compostos orgânicos voláteis (COVs) derivados de ácidos graxos que conferem aroma a várias frutas, incluindo pêssego, ameixa, damasco, abacaxi e morango (BRAGA; BELO, 2016). Até 10 lactonas diferentes foram identificadas em frutos de morango (OLBRICHT et al., 2008) e, dentre elas, a γ -decalactona é a mais abundante, atingindo níveis máximos em frutos maduros totalmente vermelhos (MÉNAGER et al., 2004). Isto justifica a presença da γ -decalactona nas amostras de sabor morango-maracujá, uma vez que esta substância é usada como aroma morango. Portanto, observou-se que sabores iguais de marcas diferentes apresentaram diversos compostos em comuns. Bebidas de mesmo sabor e mesma marca tiveram presentes os mesmos compostos. Os isotônicos de marcas e sabores diferentes apresentaram diferenças na composição

volátil, sendo que em alguns sabores foram identificados compostos exclusivos daquela essência.

4. CONCLUSÕES

Oito principais compostos foram identificados em diversas amostras da bebida, sendo o limoneno, butanoato de etila, α -terpineol, β -Linalol, β -terpineol, 1-terpien-4-ol, ácido sórbico e o ácido benzico. Além disso, observou-se que sabores iguais de marcas diferentes apresentaram diversos compostos em comuns. Bebidas de mesmo sabor e mesma marca tiveram presentes os mesmos compostos. Os isotônicos de marcas e sabores diferentes apresentaram diferenças na composição volátil, sendo que em alguns sabores foram identificados compostos exclusivos daquela essência, que podem ser utilizados como marcadores para identificação de adulteração.

REFERÊNCIAS

- ABIR. Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e de Bebidas não Alcoólicas: Produção e consumo de isotônicos no Brasil. [2018]. Disponível em: <https://abir.org.br/sector/dados/isotonicos/>. Acesso em: 11 de fevereiro de 2020.
- ANVISA. Resolução de diretoria colegiada – RDC nº 18, de 27 de abril de 2010. Abril de 2010. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasília, DF, 28 de abril de 2010.
- BRAGA, A.; BELO, I. Biotechnological production of γ -decalactone, a peach like aroma, by *Yarrowia lipolytica*. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, 32(169):1-8, 2016.
- BILAU, M.; MATTHYS, C.; VINKX, C.; HENAUW, S. Intake assessment for benzoates in different subgroups of the Flemish population. **Food and Chemical Toxicology**, 46:717-723, 2008.
- ENGEL, R. G.; KRIZ, G. S.; LAMPMAN, G. M.; PAVIA, D. L. **Introduction to Organic Laboratory Techniques: A Small Scale Approach**. 3. ed. Canada: Cengage Learning, 2011.
- FANI, M. Os conservantes mais utilizados em alimentos. **Aditivos e Ingredientes**, 1(123):40-46, 2015.
- GONZÁLEZ-FANDOS, E.; DOMINGUEZ, J..L. Effect of potassium sorbate washing on the growth of *Listeria monocytogenes* on fresh poultry. **Food Control**, 18:842-846, 2007.
- KHALEEL, C., TABANCA, N. & BUCHBAUER, G. (2018). α -Terpineol, a natural monoterpenone: A review of its biological properties. **Open Chemistry**, 16(1):349-361. 2018.
- LUO, Z. W.; CHO, J. S.; LEE, S. Y. Microbial production of methyl anthranilate, a grape flavor compound. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 116(22):10749-10756, 2019.
- MACHADO, R. M. D.; JFOUNI, S. A. V.; VITORINO, S. H. P.; VICENTE, E.; TOLEDO, M. C. F. Presença dos ácidos benzoico e sórbico em vinhos e cidras produzidas no brasil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. 27(4):847-850, 2007.
- MARTINS, L. M. et al; Microextração Líquido-líquido Dispersiva (DLLME): fundamentos e aplicações. **Scientia Chromatographica**, Santa Maria, 4(1):35-51, 2012.
- MÉNAGER, I.; JOST, M.; AUBERT, C. Changes in physicochemical characteristics and volatile constituents of strawberry (Cv. Cigaline) during maturation, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 52:1248-1254, 2004.
- NAIRAN, N.; ALMEIDA, J. N.; GALVÃO, M. S.; MADRUGA, M. S.; BRITO, E. S. Compostos voláteis dos frutos de maracujá (*Passiflora edulis forma Flavicarpa*) e de cajá (*Spondias mombin* L.) obtidos pela técnica de headspace dinâmico. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 24(2):212-216, 2004.
- OLBRICHT, K.; GRAFE, C.; WEISS, K.; ULRICH, D. Inheritance of aroma compounds in a model population of *Fragaria* \times *ananassa* Duch. **Plant Breeding**, 127(1):87-93, 2008.
- OLIVEIRA, L.C.; SANTOS, J.A.B.; NARAIN, N.; FONTES, A.S.; CAMPOS, R.S.S.; SOUZA, T.L. Caracterização e extração de compostos voláteis de resíduos do processamento de maracujá (*Passiflora edulis Sims f. flavicarpa degener*). **Ciência Rural**, 42(12):2280-2287,

2012.

ROUESSAC, F.; ROUESSAC, A. **Chemical Analysis Modern Instrumentation Methods and Techniques**. Wiley. Second Edition. 2007. 600p.

SANTOS, J. Z. dos **Caracterização química de óleos essenciais de folhas de tangerineira e híbridos**. Tese de Doutorado. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília. 2013, 149 p.

VENQUIARUTO, L. D.; DALLAGO, R. M. Química das Bebidas. In VIERO, E. C.; BACKES, G. T. **Bebidas Isotônicas**. EDIFAPES:Erechin-RS. p. 14-17.2018.

CAPÍTULO 20

“WEEPING ANGEL”: BIBLIOTECA CROSS PLATAFORMA DE BAIXO CUSTO PARA DETECÇÃO DE ATENÇÃO EM DISPOSITIVOS MÓVEIS

Alano Martins Pinto

Mestrando em Ciências da Computação pela Universidade Estadual do Ceará
Instituição: Instituto Atlântico

Endereço: Avenida Washington Soares, 909 - Loja 42 43 44 45 - Edson Queiroz,
Ceará – CE, Brasil

E-mail: alano_pinto@atlantico.com.br

Yuri Lenon Barbosa Nogueira

Doutor em Ciências da Computação pela Universidade Federal do Ceará

Instituição: Universidade Federal do Ceará

Endereço: Departamento de Computação - UFC, Campus do Pici - Centro de Ciências
- Bloco 910, CEP 60440-900 Fortaleza - CE

E-mail: yurilenon@gmail.com

RESUMO: Objetivo: Propor e demonstrar um sistema que utiliza imagens de câmera de um dispositivo móvel capaz de identificar e analisar a atenção do usuário sem a necessidade da análise do conteúdo exibido. Método: O projeto utiliza algoritmos consolidados de visão computacional para reconhecer padrões geométricos, detecção facial e filtros de imagem para, em seguida, extraír dados de piscar dos olhos a serem analisados. Resultados: Os dados de execução do algoritmo demonstram ser capaz de rodar em quase todos os dispositivos móveis de hoje, no entanto, a execução em tempo real (30 frames por segundos) só foi possível em desktop ou dispositivos móveis comparáveis. Conclusões: A detecção de atenção tem aplicabilidade em muitos ambientes práticos. O algoritmo proposto visa inferir dados para aplicativos de terceiros, podendo ser usado como uma ajuda à tomada de decisão, encapsulando uma análise complexa em uma interface simples e intuitiva.

PALAVRAS-CHAVE: OpenCV, Visão Computacional. Processamento de Imagens. Fadiga. Rastreamento de olhar.

ABSTRACT: Objective: To propose and demonstrate a system that uses camera images from a mobile device capable of identifying and analyzing the user's attention without the need to analyze the displayed content. Method: The project uses consolidated computer vision algorithms to recognize geometric patterns, facial detection and image filters to then extract blink data to be analyzed. Results: The execution data of the algorithm demonstrates being able to run on almost all mobile devices today, however, real-time execution (30 frames per second) was only possible on desktop or comparable mobile devices. Conclusions: Attention detection has applicability in many practical environments. The proposed algorithm aims to infer data for third party applications, which can be used as an aid to decision making, encapsulating a complex analysis in a simple and intuitive interface.

KEYWORDS: OpenCV, Computer Vision. Image processing. Fatigue. Look tracking.

1. INTRODUÇÃO

Em 2015, a ABS – Associação Brasileira do Sono, indicou o cansaço e a sonolência como segunda maior causa de acidentes no trânsito, sendo o motivo de 30% de acidentes de trânsito fatais. Já nos Estados Unidos, os acidentes automobilísticos são considerados a terceira principal causa de morte e feridos, tendo entre 40 e 50 mil vítimas (ROSEN, 2005). Assim como o álcool, a sonolência e a fadiga agem em funções básicas do corpo, como redução de atenção, coordenação motora, auditiva e visual (ROSEN, 2005). Segundo Rosen (2005), dirigir sob privação de sono deveria ser considerado crime; a autora fundamenta sua pesquisa a partir de respostas cognitivas dadas nessas condições relacionadas a acidentes de trânsito nos EUA.

A Polícia Rodoviária Federal brasileira realiza campanhas de saúde direcionadas para motoristas profissionais, já que estes são considerados os principais envolvidos em acidentes causados por dormir ao volante. Para Antunes et al. (2008), a privação de sono está diretamente ligada à diminuição do desempenho físico. Criando um mecanismo de mascaramento dos efeitos dessa privação, o organismo aumenta a percepção subjetiva (ANTUNES et al., 2008), causando mudança da concentração e riscos durante o exercício de atividades que requerem foco constante.

Em muitas situações, o estado de sonolência pode ser identificado através da simples observação de outro indivíduo. A partir disso, nosso projeto visa a criação de um algoritmo que analisa imagens da câmera de um dispositivo móvel de uso popular para inferir o nível de sonolência e atenção em tempo real, servindo como um meio de observação individual constante e consequente preservação da vida de muitos motoristas. Com a disseminação do uso de dispositivos móveis, não há necessidade de adquirir qualquer equipamento especializado para monitorar um motorista profissional no atributo de sonolência além de um celular de uso pessoal. Isso facilita a adesão a uma possível monitoria.

O processo de mensurar a atenção do usuário que utiliza passos de análise do conteúdo exibido é visto como uma intrusão à privacidade e, atualmente, proibido para publicação de acesso público. Muitos dispositivos móveis possuem programas que detectam faces para controlar a rotação da tela, mas eles não definem o grau de atenção. Apesar de muitas pesquisas serem realizadas nessa área, não existe uma

aplicação de referência ou largamente utilizada para isso.

Estudos sobre fenômenos neurológicos dos olhos (LEE; ZEIGH, 1991) mostram a sua ligação com a variação de alerta do indivíduo, dessa forma é proposta a implementação desses estudos através de algoritmos de visão computacional e processamento de imagens. Assim, nossa pesquisa objetivou implementar uma biblioteca de reconhecimento de atenção de usuários para dispositivos como celulares, *tablets* e *notebooks*, de forma não intrusiva e sem interação com o usuário. Utilizando-se de câmeras providas por esses dispositivos, o projeto visou analisar imagens com a finalidade de coletar e inferir informações através de comportamentos dos olhos sem interferir na usabilidade e privacidade.

2. METODOLOGIA

A implementação dessa pesquisa resulta em uma criação de uma biblioteca genérica para diversas plataformas. Essa biblioteca utiliza algoritmos de visão computacional e processamento de imagens e deve ser executada em dispositivos móveis. Para contornar as limitações de hardware desses dispositivos, foi escolhida a diminuição na taxa de acerto a fim de não consumir memória, bateria e processamento.

A análise da imagem inicia com uma conversão do quadro original para outro com apenas um canal de cor (tonalidade de cinza) com o intuito de utilizar o algoritmo de Viola e Jones (2003) para detecção de face em tempo real, reduzindo a área de busca da região da pupila. Para detecção da íris foi utilizado o algoritmo de Timm (2012). Usando cálculo de gradiente, o autor descreve um algoritmo que determina o centro da pupila e realiza um rastreamento com uma performance superior a outros trabalhos, demonstrado na sua publicação.

Após a detecção e rastreamento da íris, o evento de piscada pôde ser identificado através da implementação de um algoritmo de *floodvertical* para contagem de pixels. Assim, foi entendido como uma piscada quando a íris não pôde ser identificada e uma detecção das duas pálpebras fechadas formaram uma linha ou semelhante. Através da identificação de piscada foi possível determinar o tempo e frequência entre o evento de abertura e fechamento das pálpebras, resultando nos indicadores PERCLES e AECS. Após as análises desses indicadores, a biblioteca foi capaz de inferir o nível de atenção.

Todos os algoritmos descritos anteriormente estão implementados na biblioteca do OpenCV, com exceção da proposição de Timm (2012). Dessa maneira, a versão em C++ do OpenCV foi utilizada para a implementação, com o objetivo de ser facilmente portável para qualquer ambiente móvel.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em nosso trabalho, focamos nos seguintes indicadores relativos ao movimento das pálpebras: Average Eye Closure/Open Speed (AECS) e Percentage of Eye Closure (PERCLOS) (FABIAN; YANG, 2010). Experimentos realizados por JI e YANG (2001) demonstram uma média desses indicadores, onde valores de PERCLOS abaixo de 30% é considerado estado de atenção máxima e acima de 40% um alto grau de sonolência ou fadiga (JI; YANG, 2002). Já AECS no intervalo entre

150.000 ms e 200.000 ms demonstra o crescimento da fadiga, sendo no valor superior e acima dado como sonolência e abaixo como atenção máxima (JI; YANG, 2002). Nosso projeto visou relacionar esses dois indicadores através da captura e mensuração de piscadas.

Durante a execução de tarefas no experimento com efeito Stroop (interferência no tempo de reação para uma dada tarefa) por Oh et al. (2012) houve uma média de piscadas de 30,7 ps/min (piscadas por minuto) com uma faixa de erro de 13,0 ps/min para mais ou menos e, no estado de repouso, 20,7 ps/min, com uma faixa de erro de 11,2 ps/min. Foi admitido que o estado de olhar fixo é manter-se em um ponto fixo por 2 minutos; nesse estado, o indivíduo, apesar de direcionado para a tela, não possui nenhuma atenção de fato.

A frequência de piscada (ERB) no pior caso é em torno de 7,6 ps/min. Porém, para um ganho de performance e otimização de recursos, o projeto adotará a frequência sugerida por Han et al. (2012) de 13,5 ps/min. Com esse resultado, pode-se inferir uma piscada a cada 4,44 s. Considerando uma margem de erro referente a uma piscada, o intervalo passa para 8,88 s, utilizando-se, portanto, de uma aproximação de 10s para um intervalo onde deve haver uma piscada. Para captura do AECS em um máximo de 50.000 ms, precisamos de 8 fps, daremos uma margem de 50% para garantir uma frequência mínima de quadros em 12 fps.

A implementação padrão e instrumentação foram realizadas em um Macbook Air, com processador Intel i5, 4GB de memória RAM, utilizando a câmera integrada

Facetime 480p, para obtenção das imagens analisadas. A instrumentação da biblioteca foi feita usando o módulo *Instrumentation* do Xcode.

A linguagem de programação de implementação é o C++, com as bibliotecas do OpenCV 2.4.9; para realizar a pré-compilação a ferramenta CMake foi escolhida, esta permite através de um script personalizado, gerar projetos que são compilados para os formatos .dylib, .so, .dll e assim consumidos nas seguintes plataformas: MACOS, Android e Windows. Para o ambiente Android foi usado a tecnologia JNI (Java Native Interface) para conectar os arquivos fontes em C++ a aplicação que os consomem. Durante a instrumentação foram gravados vídeos a fim de manter a coesão entre todos os testes, porém a biblioteca também possui uma implementação em tempo real para dispositivos de maior poder de processamento, mas em dispositivos móveis medianos (dual core e 1 gb de RAM) esse comportamento sofre atraso de processamento. Isso diminui a taxa de quadros por segundos para abaixo do limite de 12 fps, definido anteriormente. Nessa situação não se deve usar tempo real, mas um conjunto de quadros previamente armazenados, o que garante que todos sejam avaliados.

Para uma avaliação coesa, o projeto foi instrumentado com os seguintes objetivos: uso de memória e processamento. Esses são dados generalistas que podem ser expandidos independente de plataforma ou hardware utilizado, já que a memória é calculada através da quantidade utilizada e o processamento por quantidade de acessos ao processador, assim a frequência de acesso ao *clock* e quantidades de núcleos influenciam na performance.

Uma especificação essencial do projeto é a necessidade de execução em um dispositivo móvel com configurações moderadas. Logo, o desempenho pode ser um gargalo para viabilidade, pois a manutenção de uma taxa relativamente alta de quadros é necessária segundo estudos já descritos. Visando isso, os algoritmos foram escolhidos levando em consideração o custo de processamento e memória em detrimento à taxa de acerto. Baseando-se nisso, o classificador usado no algoritmo de Viola-Jones foi o “lpdcascade_frontalface.xml”, que possui cerca de 20% menos de acerto que o “haarcascade_frtalface.xml”. Porém, como o dispositivo fica próximo ao rosto e é utilizado por apenas um usuário por vez, a taxa de erro é desprezível e esses quadros são ignorados pelo algoritmo.

3.1 USO DA MEMÓRIA

Segundo a análise de alocação de memória agrupado por hierarquia de execução, pudemos observar dois trechos de maior uso de recursos de memória, cerca de 75% do uso total da aplicação. Esses trechos são internos da biblioteca do OpenCV, utilizados nos algoritmos de conversão de canais de cores da imagem (cvtColor) e na identificação de faces (*CascadeClassifier::detectMultiScale*). A aplicação mantém uso constante de memória, não identificando vazamento de alocação. É observado um aumento de recursos para a consolidação de dados coletados durante a execução. Ao término do vídeo, o total de memória consumida foi de 62,95 MB, dentre os quais 47,61 MB são referentes ao consumo citado acima, 8,17 MB (12,9%) para armazenagem temporária do vídeo e 7,07MB (11,1%) para leitura do vídeo utilizado pela aplicação de referência, resultando em cerca de 100 KB para os outros algoritmos usados dentro da biblioteca.

3.2 USO DA CPU

O uso de CPU foi calculado por um contador de ciclos do processador, sendo esses divididos entre cada núcleo nas seguintes proporções, 35%, 26,9%, 24,1%, 13,8%. Durante a execução, pode haver diminuição de processamento, pois existem rotinas na biblioteca que evitam cálculos desnecessários. Por exemplo, ao detectar que os olhos estão fechados, não existe necessidade de realizar o rastreamento das pupilas. Com isso, observa-se eventuais quedas no uso do processador. É observado um consumo mais intenso no início da execução para inicializar estruturas básicas para os algoritmos.

3.3 TAXA DE ACERTO

O processo mais crítico para a taxa de acerto da biblioteca foi referente à identificação de piscada, pois esse evento define os parâmetros AECS e PERCLOS, usados para o cálculo do resultado da atenção. Com isso, para demonstrar a taxa de acerto da biblioteca, foram criados testes unitários que recebem como entrada a quantidade de piscadas previamente observadas no vídeo analisado. Após a análise de todos os quadros do vídeo, o teste unitário comparou a quantidade de piscadas com o parâmetro recebido. Mesmo com as quantidades de piscadas calculadas, ainda foi necessária uma avaliação manual de cada vídeo durante a detecção, mostrando o exato momento do vídeo em que houve uma detecção de piscada, pois deve ser avaliado a ocorrência de falsos positivos (detecção falsa) durante o teste. A partir daí, foram gravados 5 vídeos para realizar tais testes; cada um teve os seguintes resultados:

Tabela 1: Resultado dos vídeos

	Piscadas reais	Piscadas detectadas	Falso positivos
Vídeo 1	6	4	0
Vídeo 2	8	7	2
Vídeo 3	7	5	1
Vídeo 4	3	3	0
Vídeo 5	10	7	3

Fonte: Os autores.

De acordo com os testes realizados, é calculado uma média de 78,8 % de acerto e 22,9 % de falsos positivos.

4. CONCLUSÃO

Utilizando tal solução em dispositivos móveis, é possível analisar o estado de sonolência em motoristas que dirigem por longos percursos, cabendo à aplicação que a utiliza gerar uma ação que previna acidentes a partir dessa informação, sendo possível notificar o motorista ou responsável. Toda a solução não necessita de componentes específicos, como câmera estéreo, infravermelho ou de alta performance – que aumentariam o custo –, mas apenas um celular comum fixado em direção ao motorista durante seu trajeto. Portanto, o impacto social desse estudo seria tornar a referida tecnologia acessível para muitos motoristas que ainda não possuem esse tipo de detector.

Assim, este trabalho apresentou uma técnica eficiente para a detecção de atenção de usuários a partir da captura de imagens por uma câmera. O projeto possui baixas exigências de hardware, permitindo sua aplicação em dispositivos móveis que possuem poder computacional relativamente baixo. Futuros testes devem envolver dispositivos móveis reais para garantir as funcionalidades demonstradas e realizar novos testes relativos à taxa de acerto, usando vídeos gravados por esses dispositivos. Além disso, a quantidade de testes deverá ser aumentada para garantir uma maior precisão sobre a taxa de acerto.

Estudos futuros podem testar algoritmos para outros fatores relevantes na identificação de atenção. Entre eles, pode-se citar o reconhecimento de expressões faciais, como o *Active Appearance Model* (AMM), para inferir nível de fadiga ou movimentos da cabeça para considerar momentos de distração ou fuga do foco. A pesquisa pode ser ainda estendida para análise do ambiente inserido, visando observar e aprender ocasiões externas onde a atenção foi diminuída, como sons e imagens invasivas.

REFERÊNCIAS

- ANTUNES, Hanna Karen M. et al . Privação de sono e exercício físico. Rev Bras Med Esporte, Niterói, v. 14, n. 1, p. 51-56, Feb. 2008. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-86922008000100010&lng=en&nrm=iso>. Acessado em 16 de outubro de 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-86922008000100010>.
- FABIAN, F.; YANG, B., Camera- based Drowsiness Reference for Driver State Classification under Real Driving Conditions, 2010 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Junho, 22, 2010.
- TIMM, F.; BARTH, E., Accurate eye center localization by means of gradients, Institute for Neuro- and Bioinformatics, University of Lubeck, Ratzeburger Allee 160, D-23538 Lubeck, Germany " Pattern Recognition Company GmbH, Innovations Campus Lubeck, Maria-Goeppert-Strasse 1, D- 23562 L
- JI, Q.; YANG X.; Real Time Visual Cues Extraction for Monitoring Driver Vigilance, Department of Electrical, Computer, and System Engineering Rensselaer Polytechnic Institute, New York, 2001.
- JI, Q.; YANG X.; Real-Time eye, gaze, and face pose tracking for monitoring driver vigilance, Elsevier Science, Department of Computer Science, University of Nevada, New York, 2002.
- LEE, J.; ZEIGH, D.; The neurology of eye movements. Philadelphia: F.A. Davies, 1991.
- OH, J.; HAN, M.; PETERSON, BS.; Spontaneous Eyeblinks Are Correlated with Responses during the Stroop Task, PLoS ONE 7(4): e34871. doi:10.1371/journal.pone.003487, Abril, 2012.
- ROSEN, Ilene. Driving While Sleepy Should Be A Criminal Offense. Journal of Clinical Sleep Medicine, Philadelphia, v. 1, n. 4, 2005. Disponível em http://www.cadastro.abneuro.org/site/conteudo.asp?id_secao=78&id_conteudo=85&ds_secao=%C3%83%C5%A1timos%20Artigos&ds_grupo=Departamento%20de%20Sono Acessado em 15 de outubro de 2016.
- VIOLA, P.; JONES, M.; Rapid object detection using a boosted cascade of simple features, Conference on computer vision and pattern recognition, 2001.
- YAN, Z.; HU, L.; CHEN, H.; Computer vision syndrome: A widely spreading but largely unknown epidemic among computer users. Comput. Hum. Behav. 24, 2026{2042, Setembro, 2008.

SOBRE O ORGANIZADOR

Edilson Antonio Catapan: Doutor e Mestre em Engenharia da Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (2005 e 2001), Especialista em Gestão de Concessionárias de Energia Elétrica pela Universidade Federal do Paraná - UFPR (1997), Especialista em Engenharia Econômica pela Faculdade de Administração e Economia - FAE (1987) e Graduado em Administração pela Universidade Positivo (1984). Foi Executivo de Finanças por 33 anos (1980 a 2013) da Companhia Paranaense de Energia - COPEL/PR. Atuou como Coordenador do Curso de Administração da Faculdade da Indústria da Federação das Indústrias do Paraná - FIEP e Coordenador de Cursos de Pós-Graduação da FIEP. Foi Professor da UTFPR (CEFET/PR) de 1986 a 1998 e da PUCPR entre 1999 a 2008. Membro do Conselho Editorial da Revista Espaço e Energia, avaliador de Artigos do Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP e do Congresso Nacional de Excelência em Gestão - CNEG. Também atua como Editor Chefe das seguintes Revistas Acadêmicas: Brazilian Journal of Development, Brazilian Applied Science Review e Brazilian Journal of Health Review.

Agência Brasileira ISBN
ISBN: 978-65-86230-17-8