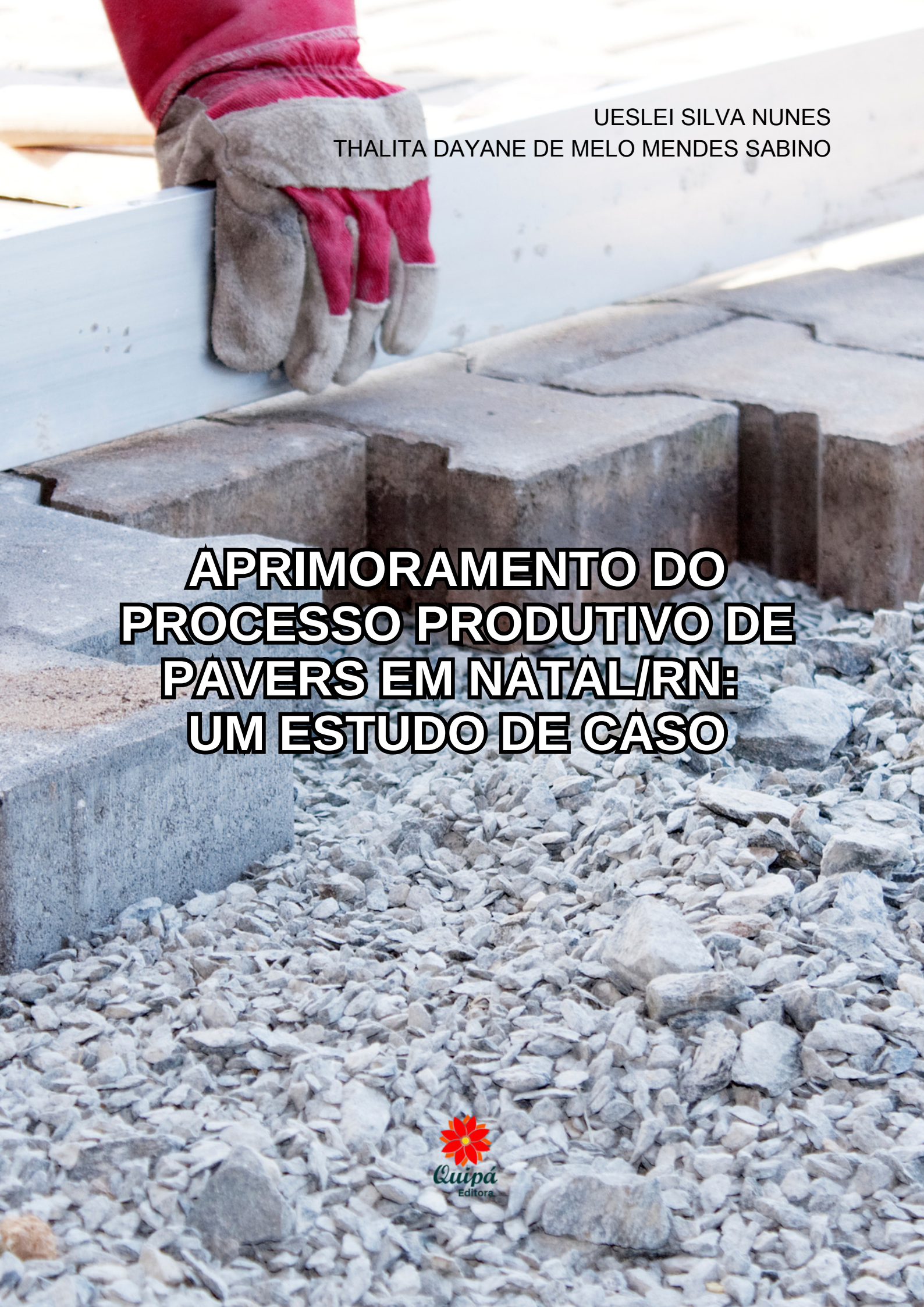




UESLEI SILVA NUNES
THALITA DAYANE DE MELO MENDES SABINO

APRIMORAMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO DE PAVERS EM NATAL/RN: UM ESTUDO DE CASO

**APRIMORAMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO DE
PAVERS EM NATAL/RN: UM ESTUDO DE CASO**



UESLEI SILVA NUNES
THALITA DAYANE DE MELO MENDES SABINO.

**APRIMORAMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO DE
PAVERS EM NATAL/RN: UM ESTUDO DE CASO**

1ª Edição

Quipá Editora
2024

Copyright © dos autores e autoras. Todos os direitos reservados.

Esta obra é publicada em acesso aberto. O conteúdo dos capítulos, os dados apresentados, bem como a revisão ortográfica e gramatical são de responsabilidade de seus autores, detentores de todos os Direitos Autorais, que permitem o download e o compartilhamento, com a devida atribuição de crédito, mas sem que seja possível alterar a obra, de nenhuma forma, ou utilizá-la para fins comerciais.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

U22a Nunes, Ueslei Silva.
 Aprimoramento do processo produtivo de *Pavers* em natal/rn: um estudo de caso / Ueslei Silva Nunes e Thalita Dayane de Melo Mendes Sabino. — Iguatu, CE : Quipá Editora, 2024.

64 p. : il.

ISBN 978-65-5376-396-8

1. Concreto. 2. Estruturas de pavimentações. I. Título. II. Nunes, Ueslei Silva. III. Sabino, Thalita Dayane de Melo Mendes.

CDD 624

Obra publicada pela Quipá Editora em outubro de 2024

Quipá Editora
www.quipaeditora.com.br
@quipaeditora

APRESENTAÇÃO

É amplamente reconhecido que o concreto é um material fundamental na indústria da construção, sendo utilizado em uma vasta gama de aplicações, incluindo a fabricação de pré-moldados como os *pavers*. No entanto, para garantir a qualidade, segurança e economia desse material, é essencial um rigoroso controle tecnológico. Devido a deficiências observadas nesse aspecto, este estudo tomou como objeto o processo produtivo de uma empresa especializada em peças para pavimentação intertravada, localizada em Natal/RN.

Este trabalho justifica-se não apenas pela aplicação de conhecimentos de Engenharia Civil para propor melhorias em uma situação-problema, mas também por contribuir como referência para futuras pesquisas no controle de qualidade de *pavers*.

O objetivo deste estudo foi identificar as causas da perda de resistência dos blocos para pavimentação intertravada e sugerir soluções economicamente viáveis. Para isso, foi realizada uma revisão teórica sobre o controle tecnológico do concreto, acompanhada de estudos de campo e coleta de materiais (peças e insumos) para a realização de ensaios de qualidade.

As análises incluíram as condições de estocagem e caracterização dos materiais, além dos processos de mistura, dosagem, lançamento, adensamento, transporte e cura. Durante a pesquisa, foi determinado o traço médio em massa utilizado na produção, identificado como 1:4,67:4,90:0,80. A partir dessa proporção, foram produzidos blocos em condições ideais de laboratório, comparando-se a resistência característica desses blocos com a dos corpos de prova produzidos na central de produção.

Concluiu-se que, mesmo corrigindo as falhas presentes no processo produtivo, as peças não atingiriam a resistência mínima de 35 MPa devido à qualidade do traço utilizado.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO

CAPÍTULO 1 06

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

CAPÍTULO 2 08

PAVIMENTAÇÃO INTERTRAVADA

CAPÍTULO 3 22

MÉTODO DE ESTUDO

CAPÍTULO 4 32

RESULTADOS E DISCUSSÕES DO ESTUDO

CAPÍTULO 5 58

CONSIDERAÇÕES FINAIS

REFERÊNCIAS 60

SOBRE OS AUTORES 64

CAPÍTULO 1

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O concreto é um material amplamente utilizado nas diversas obras de engenharia no mundo e no Brasil, devido à sua versatilidade, economia e a presença de um conjunto de normatizações que servem de alicerce para elaboração de projetos e as consequentes execuções. Isso garante uma aplicabilidade na indústria da construção, seja em estruturas moldadas “in loco”, bem como em peças pré-fabricadas para variadas finalidades.

Dentre algumas peças pré-fabricadas, uma das utilizações do concreto é a de blocos para pavimento intertravado ou “*pavers*”. De acordo com Wiebbelling (2015), essas peças tiveram sua aplicação impulsionada a partir de 1990 no Brasil, devido às vantagens oferecidas, como facilidade de assentamento; dispensa de mão de obra especializada; variedade de cores e formatos das peças; baixo custo de manutenção; após a execução, liberação imediata do tráfego; a reutilização de peças chega a 95%. Geralmente, os “*pavers*” são utilizados em calçadas, praças, vias urbanas e estradas, ciclofaixas, aeroportos e portos, estacionamentos, condomínios etc (T&A BLOCOS E PISOS, 2004).

Apesar desses benefícios, a execução de peças de concreto é permeada pela necessidade de controle de qualidade deste material, visto que a variabilidade das suas propriedades é influenciada por diversos fatores. Conforme Neville (2010), o transporte, lançamento e adensamento podem alterar significativamente a qualidade final dos elementos. Dessa forma, o controle tecnológico é uma atividade de grande relevância, pois a durabilidade, qualidade e segurança das estruturas estão diretamente ligadas a ele, bem como a racionalização dos custos de produção.

Tendo em vistas essas condições, uma empresa especializada na fabricação de blocos para pavimento intertravado apresenta dificuldades na obtenção da resistência de 35 MPa, exigida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 9781:2013 – Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio. Dessa forma, busca-se então, realizar um estudo de caso para a empresa em questão, analisando as condições de produção do concreto, investigando as causas de suas deficiências e propondo possíveis melhorias em sua linha de produção.

Como dito anteriormente, o controle tecnológico é fundamental para a qualidade final dos artefatos de concreto, além de proporcionar uma produção racional e consequentemente mais econômica. Neste caso, busca-se avaliar e sugerir melhorias no controle tecnológico de *pavers*, cuja produção apresenta certas especificidades: quando produzidos por concreto plástico, os traços podem apresentar elevados consumos de cimento; quando produzidos por concreto semi-seco, a densidade final da peça apresenta-se como fator determinante para qualidade dos produtos (FERNANDES, 2014). Assim esta pesquisa mostra-se como uma oportunidade de analisar e aprimorar a viabilidade de processos produtivos com concreto plástico, bem como o controle de produção dos blocos para pavimentação.

Ademais, Bazzo e Pereira (2006) afirmam que desde o início de um curso de graduação os graduandos serão engenheiros ativos quando contribuirão de forma substancial para a resolução de problemas. Este trabalho coaduna com esse pensamento, pois haja vista a deficiência no processo produtivo da empresa desta pesquisa, busca-se utilizar os estudos teóricos da engenharia afim de garantir o melhoramento da qualidade de seus produtos de forma economicamente viável, tendo impacto também na satisfação e segurança dos consumidores.

Nesse contexto, esta pesquisa tem como objetivo aplicar os conhecimentos teóricos da engenharia civil a fim de identificar e analisar as causas da perda de resistência das peças pré-moldadas de concreto para pavimento intertravado da empresa, propondo soluções economicamente viáveis.

CAPÍTULO 2

PAVIMENTAÇÃO INTERTRAVADA

A pavimentação foi uma invenção antiga: de acordo com Cruz (2003), os povos Etruscos, que dominavam a região da Itália, foram os primeiros a elaborar esse mecanismo, por volta de 800 a.C. a 350 a.C. Contudo, apenas a partir do século XIX que as peças pré-fabricadas de concreto (PPC) tiveram sua origem.

Ainda conforme Cruz (2003), a partir de 1950, consolidaram-se as variadas formas do PPC; em 1960, o pavimento intertravado já estava atuando comercialmente na Europa, América Central e do Sul e na África do Sul; e em 1970, já eram comercializados pelo menos 200 formas e variados tipos de equipamentos para peças pré-fabricadas de concreto.

Na década de 80, a produção anual era aproximadamente 45 milhões, na qual 66% eram oriundos da aplicação em vias de tráfego. Posteriormente, na década de 90, a produção era de 100 m² por segundo. Em 2005, era estimado que seriam utilizados mais 60 milhões de peças para pavimento intertravado nos Estados Unidos (SMITH apud MÜLLER, 2005).

No Brasil, a pavimentação historicamente utilizada era a de pedras entalhadas chamada de “pé-de-moleque”, herdada em virtude da colonização portuguesa. A partir dela derivou-se o método do paralelepípedo, difundido em todo o país (BITTENCOURT, 2012). Posteriormente os a pavimentação intertravada com peças de concreto começou a ganhar espaço a partir de 1970 e passou a ser empregado em diversas obras (T&A BLOCOS E PISOS, 2004).

De acordo com Bittencourt (2012), o pavimento intertravado é formado pela instalação de peças de concreto pré-moldadas, sendo amplamente utilizado no Brasil em ruas, calçadas, calçadões e praças. Há ainda outras aplicações, segundo T&A Blocos e Pisos (2004), como portos e aeroportos, áreas industriais, estacionamentos, pátios de manobras e terminais de cargas, oficinas, terminais de transportes coletivos, condomínios e faixa de sinalização. Percebe-se, então, uma gama de aplicações para esse tipo de pavimento, o que demonstra a sua versatilidade.

Para Bittencourt (2012), uma das vantagens desse pavimento é a diversidade de formas, cores e texturas das peças. Essa característica é responsável também pelo uso recorrente em ambientes cujo apelo estético é primordial, como praças e parques. De acordo com Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) (2009), existem também variadas formas de assentamento, como trama, reto, espinha de peixe e fileira. As figuras 2.1 e 2.2 abaixo mostram respectivamente alguns tipos de peças e formas de assentamento.

Figura 2.1 – Modelos de peças para pavimento intertravado.



Fonte: ABCP (2009).

Figura 2.2 – Formas de assentamento.



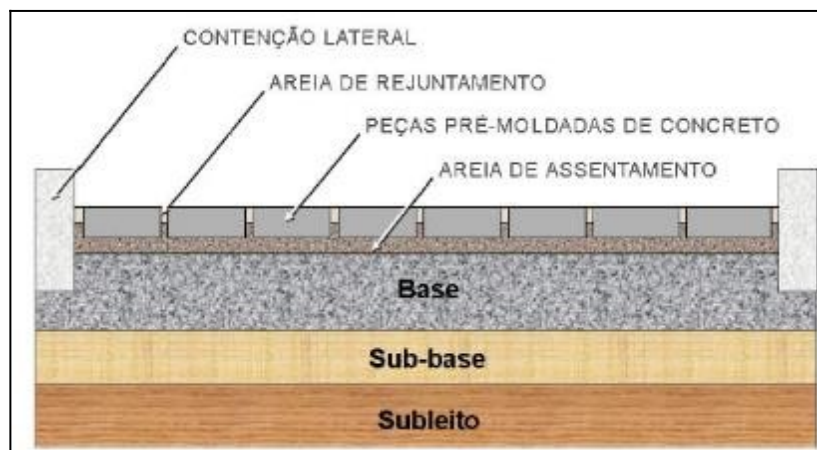
Fonte: ABCP (2009).

Ainda conforme a ABCP (2009), o pavimento intertravado apresenta um melhor conforto térmico quando comparado aos pavimentos asfálticos, pois a superfície absorve menos energia térmica em virtude da sua pigmentação. Ademais, a liberação do tráfego ocorre imediatamente após a compactação final e limpeza. Há também a possibilidade de reciclagem e reutilização, dando um carácter de sustentabilidade aos “*pavers*”. Por exemplo, se for necessária fazer uma intervenção subterrânea, pode-se reutilizar as mesmas peças ora retiradas.

O concreto, se produzido corretamente, apresenta boa durabilidade e resistência. Assim também é com as peças para pavimento intertravado, que devem apresentar elevada resistência à abrasão e à compressão. Para T&A Blocos e Pisos (2004), por exemplo, a durabilidade pode ser de 25 anos se assentados em um pavimento construído adequadamente. Outra vantagem é que as peças para pavimento intertravado não requerem mão de obra especializada nem de equipamentos específicos em seu assentamento (BITTENCOURT, 2012).

O pavimento intertravado é constituído por peças pré-moldadas de concreto assentadas sobre uma fina camada de areia acima das outras camadas da pavimentação: base, sub-base e o subleito, como é mostrado na figura 2.3. A camada de areia utilizada tem a função de regularizar a base, promover uma melhor distribuição das cargas e acomodamento das peças (FERNANDES, 2008 apud CLEMENTINO; BARROS; SANTOS, 2013). Nessa estrutura, geralmente o meio-fio das calçadas serve como contenção lateral para as peças e a areia (WIEBBELLING, 2015). A espessura de cada uma das camadas depende da finalidade do pavimento, assim como a espessura da PPC.

Figura 2.3 – Estrutura Típica de um pavimento intertravado.



Fonte: Hallack (1998) apud Müller (2005).

A camada externa destinada a receber os esforços de rolamento dos veículos, tráfego de pedestres e suportar as cargas é chamada de camada de rolamento ou camada de revestimento. Esses esforços provenientes do tráfego traduzem-se em forças horizontais, verticais e a torção. Dessa forma, os *pavers* devem transmitir o mínimo possível das cargas verticais para as camadas subjacentes do pavimento. Em sua superfície estão assentadas as peças de concreto, que devem ter a espessura de acordo com o tipo de tráfego, como mostra a tabela 2.1 (ABCP, 2009; T&A Blocos e Pisos, 2004).

Tabela 2.1 – Espessura dos *pavers* em razão do tráfego

Tipo de Tráfego	Espessura do Piso (cm)
Tráfego leve (automóveis)	6
Tráfego comercial (ônibus, caminhões, etc.)	8
Tráfego pesado (portos e aeroportos)	10

Fonte: T&A Blocos e Pisos (2004).

A fina camada de areia citada anteriormente é chamada de camada de assentamento ou colchão de areia. Ela é formada por um material granular, com 3,0 a 5,0 cm de espessura não compactado, que serve como base para o assentamento dos blocos e impede a transmissão das trincas que porventura apareçam na camada de base para a camada de revestimento (ABCP, 2009; T&A BLOCOS E PISOS, 2004; BRITO, 2013). Essa camada tem uma grande importância, pois garante o nivelamento do pavimento, corrigindo a variação da espessura das peças pré-moldadas de concreto.

Após a camada de areia, há a camada de base. Conforme Cruz (2003), a base é responsável por receber as tensões da camada de revestimento, protegendo o subleito das deformações provenientes das cargas ao qual o pavimento está submetido. Geralmente, ela é formada por um material granular que pode ou não ser estabilizado com cimento. De acordo com a ABCP (2009), a espessura mínima dessa camada deve ser de 10 centímetros.

Dependendo da intensidade das cargas proveniente do tráfego, pode ser necessária a instalação de uma camada suplementar, denominada de sub-base. Consoante Godinho (2009), esta é formada por materiais granulares, proporcionando melhor resistência e minorando o custo global do pavimento. Pode-se utilizar alguns aditivos para melhorar as condições do solo a ser utilizado na sub-base, como a estabilização com cimento Portland.

A última camada é o subleito, que é resultante do processo de terraplenagem, cuja função é servir de fundação para o pavimento em si. Assim as camadas acima do subleito deverão ser dimensionadas adequadamente para transmitir tensões compatíveis com a tensão admissível. Ainda sobre essa camada:

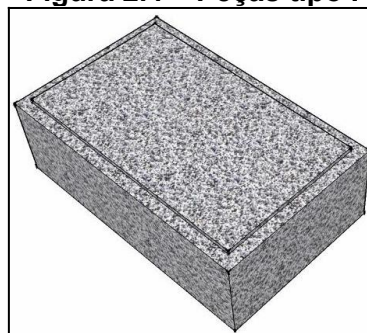
[...] pode-se dizer que as camadas constituintes da estrutura de um pavimento intertravado possuem a função de distribuir a tensão normal vertical aplicada na superfície, de tal maneira que o subleito receba uma parcela muito inferior desta tensão [...] (MÜLLER, 2005, p. 19).

Além disso, é necessário que as peças sejam rejuntadas com um material granular que pode ser pó de pedra ou areia fina. Para Brito (2013), o rejuntamento influencia o intertravamento das peças, de modo a permitir o funcionamento mecânico dessas e minora a percolação de água entre elas. Ademais, o intertravamento das peças depende das contenções laterais também, que geralmente são o meio-fio ou a guia. Na ausência desses elementos, o tráfego causaria esforços que separariam as peças, comprometendo o intertravamento (T&A BLOCOS E PISOS, 2004).

Há diversos formatos de peças para pavimento intertravado, o que pode ser explicado devido à grande versatilidade que o concreto apresenta em se moldar em variadas formas geométricas. Por exemplo, conforme Fernandes (2008 *apud* CLEMENTINO; BARROS; SANTOS, 2013), existem mais de 42 modelos de *pavers* no mundo. Há três grupos de peças intertravadas típicas de acordo com a ABCP (2009):

- a) Tipo I: são peças retangulares em que suas laterais podem ser curvilíneas ou poliédricas (figura 2.4 abaixo). Podem ser assentadas no formato fileira, “espinha de peixe” ou trama. Geralmente possuem dimensões nas proporções 1:2, de fácil manuseio e se entrelaçam nos 4 lados.

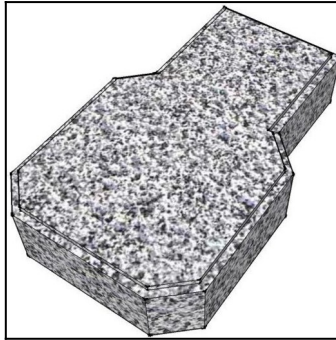
Figura 2.4 – Peças tipo I



Fonte: Bittencourt (2012).

- b) Tipo II: são peças de acordo com a figura 2.5, que são semelhantes às peças descritas acima, mas que se entrelaçam apenas em dois lados. Geralmente podem ser assentadas em fileira ou trama e são carregadas com uma só mão. Apresentam o formato de “I”.

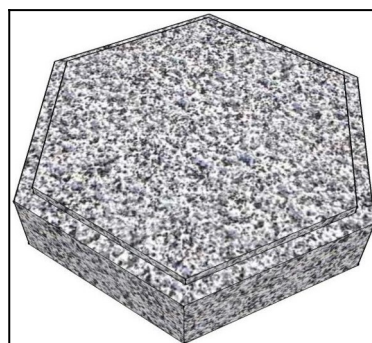
Figura 2.5 – Peças tipo II.



Fonte: Bittencourt (2012).

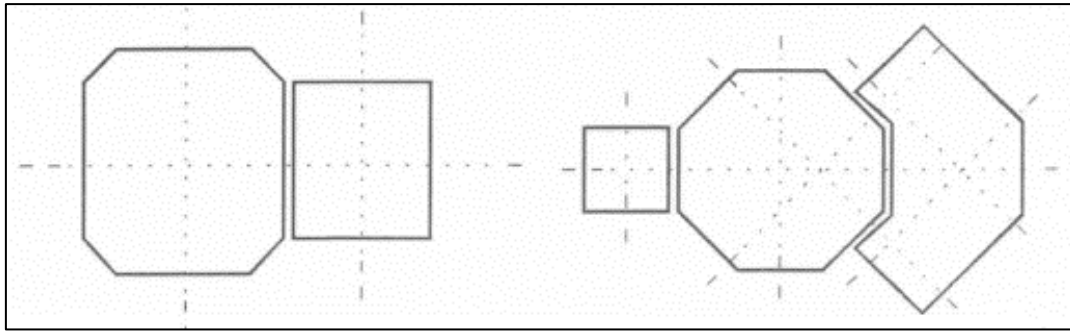
- c) Tipo III: apresentam dimensões e peso maiores que os outros modelos e são de formatos geométricos específicos, como hexagonais ou triedros. Geralmente precisam ser carregadas com as duas mãos. A figura 2.6 abaixo mostra um exemplo de peça tipo III.

Figura 2.6 – Peças tipo III.



Fonte: Bittencourt (2012).

A ABNT NBR 9781:2013 ainda considera um outro tipo de bloco, chamado de tipo IV (figura 2.7), que corresponde a um conjunto de peças de tamanhos variados ou uma peça com juntas falsas que podem ser utilizadas para diferentes tipos de padrões.

Figura 2.7 – Peças tipo IV

Fonte: ABNT (2013).

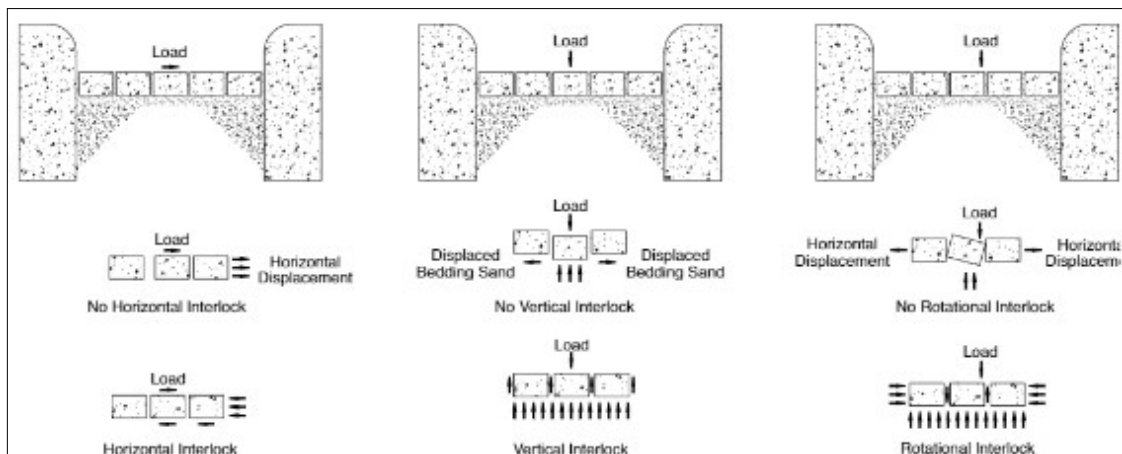
O intertravamento pode ser definido como a capacidade do pavimento resistir aos esforços horizontais, verticais, de torção e giração em torno das peças vizinhas. A partir, dele pode-se considerar o pavimento como um elemento único e flexível (GODINHO, 2009). Há quatro tipos de intertravamento das peças pré-moldadas de concreto: intertravamento horizontal, vertical, rotacional e de giração.

O intertravamento horizontal constitui a capacidade das peças resistirem à movimentação horizontal em relação às peças vizinhas. Consoante com Fioriti (2007), o rejuntamento é o responsável pelo intertravamento dessas peças quando adequado.

O intertravamento vertical é definido como a capacidade da peça não se mover verticalmente em relação às peças vizinhas. Knapton (1996 *apud* FIORITI, 2007) assegura que esse tipo de intertravamento é conseguido através dos esforços de cisalhamento absorvidos pelo rejunte combinado pela capacidade estrutural das camadas do pavimento. Em outras palavras, o intertravamento vertical faz com que a peça não afunde nas camadas inferiores.

Quanto ao intertravamento de rotacional, define-se como a capacidade da peça de não rotacionar em torno do eixo vertical. Tal condição ocorre frequentemente em locais com curvas, onde há aumento da tensão radial em virtude da frenagem dos veículos (CRUZ, 2003).

O intertravamento de giração está relacionado com o impedimento de giro em torno do eixo horizontal da peça. Segundo Bittencourt (2012), esse movimento é de rara ocorrência, sendo resolvido com um confinamento lateral adequado. A figura 2.8 mostra o funcionamento dos intertravamentos.

Figura 2.8 – Funcionamento do intertravamento horizontal, vertical e rotacional

Fonte: ICPI (2017).

Para a fabricação das peças pré-moldadas de concreto, destacam-se fatores tais quais os materiais que as compõem e os equipamentos utilizados no adensamento e moldagem. Conforme Wiebbelling (2015), os *pavers* são produzidos pela mistura de cimento, agregados graúdos, agregados miúdos e água, em que eventualmente podem ser utilizadas adições minerais ou aditivos químicos. Além disso, de acordo com a necessidade estética da aplicação, faz-se o uso de pigmentos. Em resumo, pode-se dizer que os materiais para fabricação geralmente são os mesmos que os do concreto convencional.

Segundo ABNT NBR 9781:2013, o cimento a ser utilizado na fabricação pode ser de qualquer tipo ou classe desde que atendam às exigências normativas. O tipo de cimento mais utilizado é o de alta resistência inicial, o pozolânico ou composto com pozolana (WIEBBELLING, 2015). Os agregados miúdos geralmente utilizados são de origem natural ou artificial e destacam-se a areia fina e o pó de pedra. A ABNT NBR 9781:2013 ainda permite o uso de agregados reciclados na fabricação.

Os agregados graúdos geralmente empregados são a brita “0” ou brita “1”, devido à melhor aderência com a pasta de cimento, o que garante resultados mais elevados de resistência mecânica. A ABNT NBR 9781:2013 ainda salienta que a água, os aditivos e os pigmentos que forem utilizados na fabricação dos *pavers* devem estar de acordo com as respectivas recomendações normativas.

Consoante Bauer (2000), a mistura é a produção do concreto com a finalidade de se obter um material homogêneo, proveniente do agrupamento interno dos aglomerantes, agregados, aditivos e água.

A mistura pode ser mecanizada ou manual, contudo, há um consenso entre os autores de que a mistura mecanizada é mais eficiente. A mistura manual é recomendada apenas para obras de pequeno porte, já a mistura mecanizada, realizadas por meio de betoneiras ou misturadores, é recomendada pra todos os tipos de obras (CLEMENTINO; BARROS; SANTOS, 2013).

Não existe apenas uma ordem de colocar os materiais na betoneira, pois depende das características de cada equipamento. Contudo, em betoneiras pequenas algumas regras devem ser seguidas (BAUER 2000):

- a) Não se deve adicionar o cimento em primeiro lugar, uma vez que se pode perder uma parte dele caso a betoneira esteja seca ou o cimento pode acabar revestindo-a internamente caso a betoneira esteja úmida;
- b) Sugere-se colocar primeiramente a água e depois o agregado graúdo, pois estes dois materiais proporcionam a limpeza da argamassa retida nas palhetas da betoneira, devido à betonada anterior;
- c) Posteriormente, deve-se colocar o cimento, pois a água estará bem distribuída para cada partícula do aglomerante e o agregado graúdo fará a moagem do cimento;
- d) É aconselhável colocar o agregado miúdo por último, pois ele garante um tamponamento nos materiais já adicionados.

Uma ordem de misturar os materiais é sugerida por Helene e Terzian (1992) em que são colocados na sequência 80% da água, 100% do agregado graúdo, 100% do agregado miúdo, 100% do cimento e por fim o restante da água e aditivo, caso este último seja usado. Quanto ao tempo de mistura, Sobral (2000) afirma que se inicia a partir do instante em que se adiciona o último componente do concreto e o fim da operação. É necessário que esse tempo seja suficiente para garantir a homogeneidade do concreto, evitando segregações. A ABNT NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento recomenda que a mistura não seja interrompida e o tempo irá aumentar proporcionalmente com o volume, bem como quanto mais seco o concreto. A tabela 2.2 abaixo mostra o tempo mínimo de mistura de acordo com a *American Concrete Institute* e *American Society for Testing and Materials* ACI/ASTM C 94-89b e *United States Bureau of Reclamation*.

Tabela 2.2 – Tempo mínimo de mistura do concreto.

Capacidade de betoneira (m³)	Tempo de mistura (min:s)	
	ACI/ASTM C 94-89b	US. Bureau of Reclamation
Até 0,8	1:00	1:30
1,5	1:15	1:30
2,3	1:30	2:00
3,0	1:45	2:30
3,8	2:00	2:45
4,6	2:15	3:00
7,6	3:15	-

Fonte: Sobral (2000).

O transporte do concreto influi diretamente na resistência do material, uma vez que pode haver a desagregação entre os materiais. Conforme Bauer (2000), a segregação dos materiais ocorre porque o concreto é uma mistura heterogênea, havendo forças internas e externas agindo para separar os materiais. Essa separação deve ser impedida e não pode ser corrigida após sua ocorrência.

O sistema de transporte deve ser tal que não provoque essa segregação, perda de argamassa ou parte de cimento, nem promover a separação entre o agregado grosso e a argamassa. Geralmente, em concreto produzido em obras, são utilizados como transporte as padiolas, carros de mão, caçambas e guias, dentre outros (SOBRAL, 2000).

Além disso, é necessário que o transporte seja rápido, afim de evitar que haja perda de trabalhabilidade do concreto, bem como recomenda-se lançar o concreto diretamente nas formas, sem uso de depósitos intermediários (BAUER 2000).

Assim, como o transporte, o lançamento também pode interferir na qualidade final do concreto, uma vez que também pode haver a segregação dos materiais. Segundo Sobral (2000), o lançamento deve evitar a segregação, bem como promover o contato íntimo entre a argamassa e o agregado graúdo.

Consoante Bauer (2000), o lançamento deve ocorrer em até no máximo uma hora a partir do fim do amassamento. Além disso, a altura de queda precisa ser no máximo de dois metros. Em caso de peças estreitas e altas, o concreto deve ser lançado por meio de funis, trombas ou por janelas de abertura. O adensamento é o processo pelo qual há a redução dos vazios do concreto quando nas formas. É um processo fundamental, pois os

vazios no concreto estão ligados à perda de resistência mecânica da peça moldada. Assim, é necessário que, após a colocação do concreto nas formas, aplique-se processos que provoquem a saída de ar, garantindo o um arranjo dos agregados e melhor contato com formas e ferragens (BAUER, 2000).

O adensamento pode ser manual ou mecanizado. Geralmente o manual é utilizado em obras de pequeno porte, feito com soquetes: são dados golpes em camadas de concreto para expulsar o ar.

Já o adensamento mecanizado é por energia de compactação mecânica. Na maioria das vezes, é utilizado a vibração, por meio de vibradores. As propriedades mais importantes destes são a amplitude, frequência, diâmetro da agulha e raio de ação. A frequência é o que garante o movimento das partículas menores em relação às maiores (BAUER, 2000).

Bauer (2000) define a cura: “[...] um conjunto de medidas que têm por objetivo evitar a evaporação da água utilizada na mistura do concreto e que deverá reagir com o cimento, hidratando-o.”.

A importância da cura deve-se ao fato que a evaporação da água pode acarretar patologias no concreto, bem como deficiências nas propriedades mecânicas, por exemplo, Peinado (2013) explica que não somente a resistência pode ser afetada, mas a durabilidade, permeabilidade, resistência à abrasão e resistência aos agentes agressivos. As intempéries são responsáveis pela evaporação, dentre elas, destacam-se o sol e o vento. Ainda de acordo com Peinado (2013), há diversos métodos de cura, mas aqueles que apresentam maior facilidade para serem aplicados no canteiro de obras são: molhagem constante, aspersão, irrigação, alagamento, cobertura com tecidos úmidos e cura química.

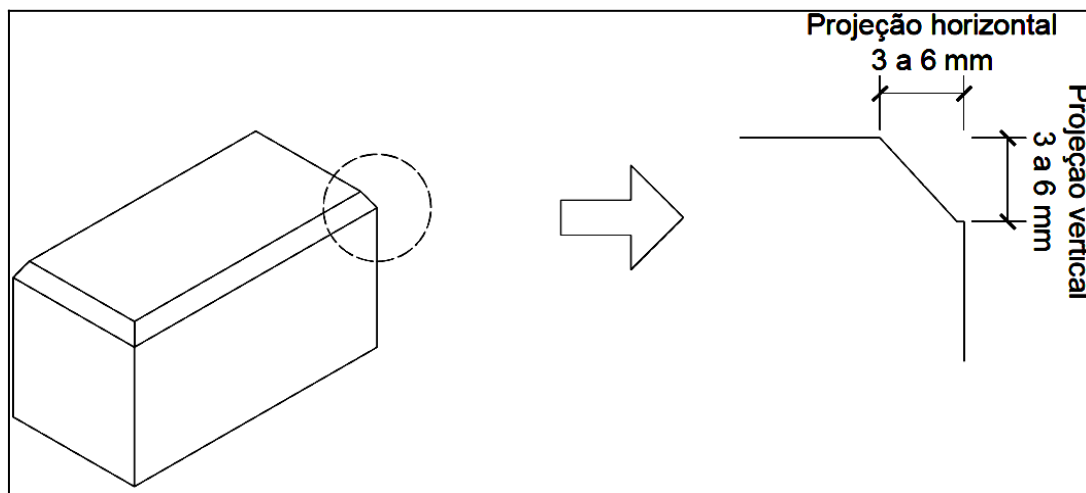
Não há consenso de quanto tempo deve ser feita a cura. ABNT NBR 6118:2013 sugere que a cura deve ser realizada durante os sete primeiros dias. Já a ABNT NBR 14931:2004 - Execução de Estruturas de Concreto – Procedimento recomenda que os elementos estruturais de superfície devem ser submetidos à cura até atingirem a resistência de compressão igual ou superior a 15 MPa. Contudo, para Bauer (2000), já é consensual que quanto mais bem-feita e longa for a cura, melhores serão as propriedades mecânicas do concreto. Portanto, percebe-se que a cura é fundamental para um bom concreto.

Além das condições supracitadas, há alguns fatores que interferem de forma significativa na resistência à compressão do concreto: relação água/cimento; idade; maturidade; tipo e classe de cimento; e relação agregado/cimento. O primeiro desses fatores é determinante na resistência. Segundo Neville e Brooks (2013), a resistência à compressão do concreto é inversamente proporcional à relação água/cimento, condição chamada de Lei de Abrams. Isso deve-se ao fato de a água aumentar o número de vazios no concreto. Por sua vez, os grãos hidratados do cimento desenvolvem-se, aumentando de tamanho. Dessa forma, com o aumento da idade do concreto, os vazios diminuem e por conseguinte a resistência aumenta. Embora o tempo balize a reação de hidratação, a velocidade em que elas ocorrem depende também da temperatura do ambiente. Por exemplo, em regiões temperadas as reações ocorrem de forma mais lenta que em regiões tropicais.

Além disso, o tipo e classe do cimento são fatores que contribuem para à resistência, uma vez que parte dela deve-se à pasta. Por outro lado, a resistência do agregado geralmente é bastante superior à da pasta. Assim, como afirmam Neville e Brooks (2013), quanto maior for a relação agregado/cimento, maior será a resistência. Todavia, deve-se também compreender que essa reação é limitada, pois a pasta deve ser suficiente para envolver os agregados e garantir a coesão.

A norma que estabelece as diretrizes para especificações das peças pré-moldadas de concreto para pavimento intertravado é a ABNT NBR 9781:2013. Serão destacados aqui alguns aspectos com relação às propriedades dos pavimentos intertravados.

- a) **Propriedades geométricas:** de acordo com ABNT NBR 9781:2013 as peças devem ter um comprimento máximo de duzentos e cinquenta milímetros, espessura mínima de sessenta milímetros, que deve ser sempre múltipla de vinte milímetros. A largura, espessura e comprimento tem uma tolerância de mais ou menos três centímetros. As peças podem ter chanfros ou não, dependendo das características de projeto e do conforto exigido para o rolamento. Em geral, o chanfro deve apresentar, na projeção horizontal e na projeção vertical, três a seis milímetros (figura 2.9). Caso a peça não tenha chanfros, as arestas devem ser regulares nas laterais e na superior.

Figura 2.9 – Comprimento das projeções vertical e horizontal.

Fonte: ABNT (adaptado, 2013).

- b) **Propriedades mecânicas:** Para cada situação, a ABNT NBR 9781:2013 fixa qual a resistência característica à compressão do concreto. A tabela 2.3 apresenta essas características.

Tabela 2.3 – Resistência característica à compressão.

Solicitação	Resistência Característica à Compressão aos 28 dias (MPa)
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	$f_{pk} \geq 35$
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados.	$f_{pk} \geq 50$

Fonte: ABNT (2013).

Além disso, é exigido que a absorção de água das peças tenha um valor médio de 6% ou menos. Qualquer peça com valor individual acima de 7% não será admitida. Quanto à resistência à abrasão, a ABNT NBR 9781:2013 permite que seja facultativo a realização do ensaio. Porém, são estabelecidas especificações de acordo com a tabela 2.4 abaixo.

Tabela 2.4 – Resistência à abrasão.

Solicitação	Cavidade Máxima (mm)
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha.	≤ 23
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados.	≤ 20

Fonte: ABNT (2013).

CAPÍTULO 3

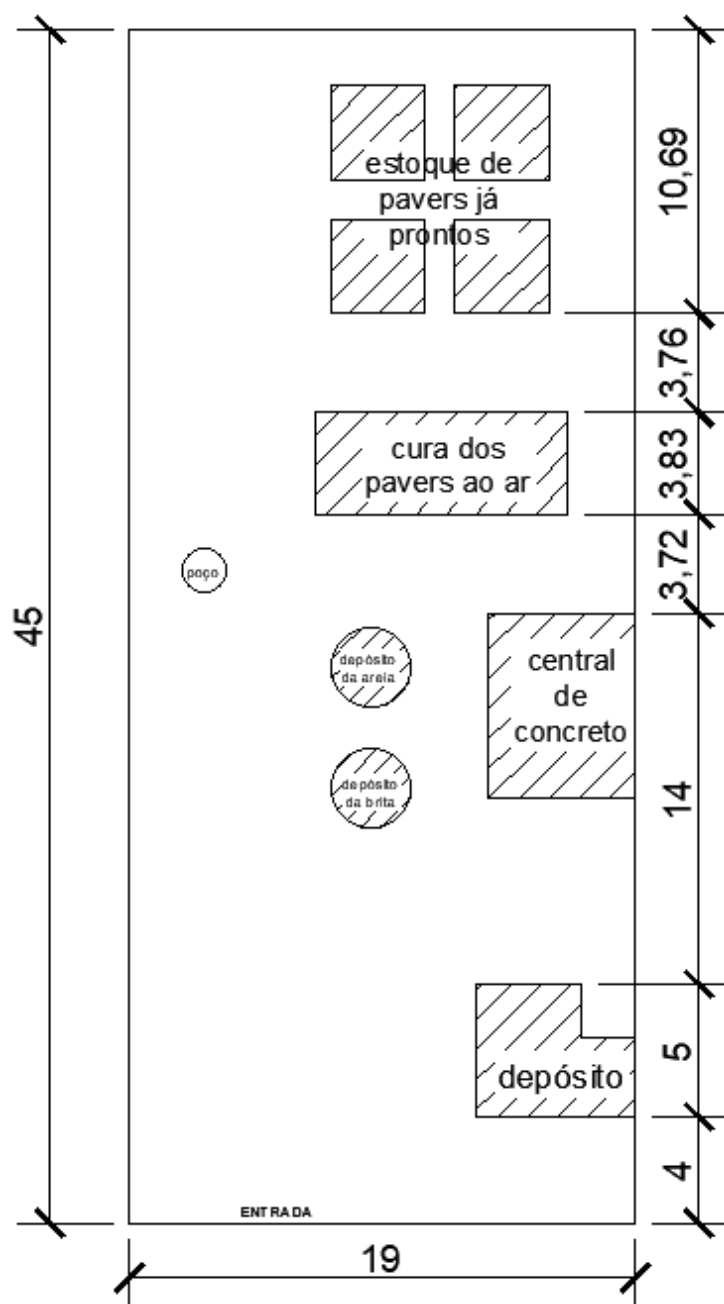
MÉTODO DE ESTUDO

Este trabalho trata-se de uma pesquisa explicativa, pois serão registrados os fatos, analisando-os, interpretando-os e por fim buscando identificar suas causas. No que concerne à tipologia da pesquisa, trata-se de um estudo de caso, visando compreender quais as razões das deficiências no processo produtivo da empresa especializada em *pavers*, de modo a sugerir melhorias economicamente viáveis. Para isso, serão utilizados como métodos de investigação a investigação de campo e revisões teóricas.

A empresa desta pesquisa é especializada na fabricação de peças pré-fabricadas de concreto para pavimentação intertravada de variados tipos e formatos: hexagonal, tipo grelha, blocos retangulares, blocos retangulares segmentados, dentro outros. Atualmente faz entregas para obras de condomínios e estacionamentos. Seu escritório localiza-se no bairro de Candelária, em Natal, Rio Grande do Norte e a central de fabricação das peças localiza-se no município de São José de Mipibu, também no Rio Grande do Norte.

O caso estudado por esse trabalho trata-se da incapacidade do concreto utilizado para produção dos blocos da empresa não alcançar as exigências normativas presentes na ABNT NBR 9781:2013, especificamente no que diz respeito a atingir a resistência à compressão de 35 MPa. Os *pavers* são produzidos de forma manual como é descrito no item 2.2.4.2. desta pesquisa. Diferenciando-se pelo fato de ser adicionada uma argamassa nas formas antes de lançado o concreto com a finalidade de aumentar a resistência à abrasão da peça. Toda a pesquisa foi realizada na central de fabricação citada no item 3.1. Para fins explicativos a figura 3.1 abaixo mostra o croqui da central.

Figura 3.1 – Croqui da central de produção da empresa (cotas em metros).

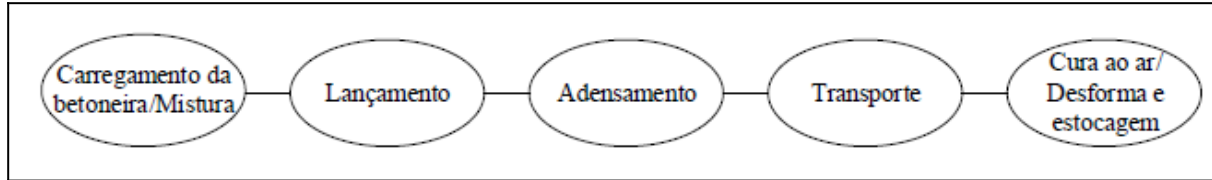


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Para facilitar a compreensão desta pesquisa, apresenta-se uma breve descrição do processo de produção dos blocos para pavimentação intertravada na empresa. Inicialmente, com uso dos materiais estocados, um operário enche as padiolas e posteriormente inicia o carregamento da betoneira. Após finalizada a mistura, o concreto é lançado em um recipiente intermediário para, em seguida, ser lançado nas formas por outro colaborador. As formas são colocadas na mesa vibratória e, depois de adensadas,

são transportadas à região de cura. No outro dia, as peças são desmoldadas e estocadas em pilhas. A figura 3.2 mostra o fluxo desse processo.

Figura 3.2 – Fluxograma do processo produtivo da empresa.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

As revisões teóricas serão feitas com a busca de diversas publicações, teses, dissertações, artigos e monografias que tenham como a linha de pesquisa ou envolvam a área de assunto deste trabalho. Nesta etapa, devem-se compreender quais são as recomendações normativas e quais prescrições teóricas de variados autores a respeito da produção dos *pavers*, bem como controle tecnológico do concreto. A pesquisa de campo será realizada em visitas à central de produção da empresa, de modo a observar todo o processo de fabricação das peças, analisando os possíveis erros que venham a ocorrer. Serão monitorados todo o processo: estocagem de materiais, moldagem, lançamento, transporte, adensamento e cura das peças pré-fabricadas de concreto.

Nesta parte da pesquisa, serão utilizadas fichas de registro diário das visitas, bem como fotografias para exemplificar os possíveis erros. Além disso, também serão realizadas entrevistas com o engenheiro responsável. Os materiais utilizados na confecção do concreto na produção de peças pré-moldadas foram levados ao Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), com o intuito de determinar parâmetros considerados importantes para a investigação. As normas pertinentes a cada ensaio orientaram as suas execuções.

Por fim, os dados coletados no levantamento em campo serão comparados com as práticas recomendadas levantadas a partir da revisão teórica. A partir disso, será possível identificar os erros e sugerir melhorias à empresa. Os ensaios realizados são descritos a seguir:

- a) **Massa específica dos agregados e absorção da brita:** as amostras recolhidas em campo dos agregados foram utilizadas no ensaio de massa específica real e

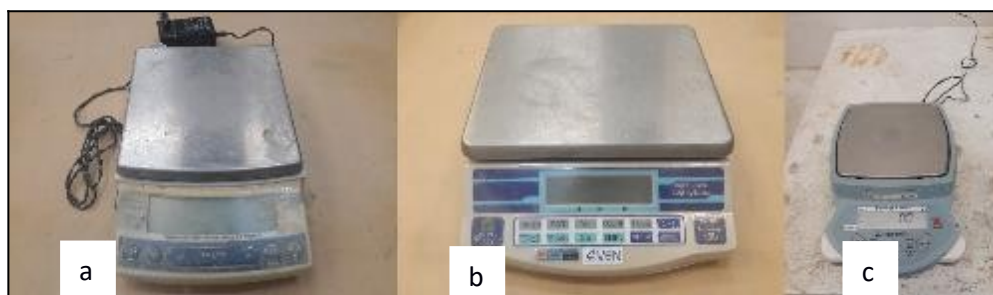
aparente. Toda a execução dos ensaios foi embasada pela ABNT NBR NM 53:1996 - Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água; pela ABNT NBR NM 52:2009 – Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente; e ABNT NBR NM 45:2006 – Agregados – determinação da massa unitária e volume de vazios.

- b) **Análise Granulométrica dos agregados:** dos agregados utilizados na mistura do concreto, foram retiradas amostras para os ensaios de granulometria, que se realizaram de acordo com as recomendações da ABNT NBR NM 248:2003 – Agregados - Determinação da composição granulométrica. Na granulometria da areia, foi preciso passá-la previamente através da peneira 4,8 a fim de separar sólidos grosseiros e torrões.
- c) **Resistência à compressão do cimento Portland:** foi necessário realizar ensaios para aferir a resistência à compressão do cimento empregado na fabricação dos *pavers*. Para isso, fez-se uso das recomendações da ABNT NBR 7215:2019 - Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão.
- d) **Resistência à compressão de peças para pavimentação intertravada:** durante toda a pesquisa, com a finalidade de monitorar a resistência das peças para pavimentação intertravada, executaram-se os ensaios de resistência à compressão. A execução foi de acordo com as prescrições normativas da ABNT NBR 9781:2013 - Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio.
- e) **Especificações da água de amassamento:** todas as especificações e parâmetros necessários para avaliação da água foram obtidos de acordo com as orientações e exigências das ABNT NBR 15900:2009 - Água para amassamento do concreto - Parte 1: Requisitos. As amostras foram coletadas e levadas para ensaio no Núcleo de Análise de Águas, Alimentos e Efluentes (NAAE). Foram determinados os seguintes parâmetros: ácidos, cor, matéria orgânica, materiais sólidos, cloretos, sulfatos, álcalis, fosfatos, nitratos, chumbo, zinco.
- f) **Materiais pulverulentos:** os agregados utilizados na central de produção da Sinprel foram coletados e levados ao Laboratório de Materiais de Construção da UFRN para determinar o teor de materiais pulverulentos. Todo o procedimento de ensaio foi realizado de acordo com ABNT NBR NM 46:2003 – Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem.

- g) **Teor de impurezas orgânicas:** para areia, foi executado o ensaio de determinação das impurezas orgânicas. Todo o ensaio realizou-se de acordo com as prescrições normativas da ABNT NBR NM 49:2001 - Agregado miúdo - Determinação de impurezas orgânicas.
- h) **Inchamento da areia:** como o traço é medido em volume na central de produção, foi preciso determinar o comportamento do volume da areia em função da variação da umidade. Para isso, realizou-se o ensaio de inchamento de areia, executado de acordo com as prescrições normativas da ABNT NBR ABNT 6467:2006 – Agregados – Determinação do inchamento de agregado miúdo – Método de ensaio.
- i) **Índice de forma:** para o agregado graúdo foi também preciso determinar o índice de forma, de modo a verificar se o formato da partícula confere boa trabalhabilidade ao concreto. Dessa maneira, executou-se o ensaio de acordo com as orientações da ABNT NBR 7809:2005 – Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – Método de ensaio.
- j) **Abrasão “Los Angeles”:** para verificar a resistência do brita à abrasão, uma amostra foi coletada em campo. O ensaio foi realizado de acordo com as prescrições da ABNT NBR NM 51:2001 – Agregado graúdo – Ensaio de abrasão “Los Angeles.
- k) **Determinação da consistência:** foi necessário medir a consistência do concreto fresco na central de produção, para poder reproduzir o traço no laboratório. Dessa maneira, o procedimento foi realizado de acordo com ABNT NBR NM 67:1998 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.
- l) **Método de dosagem:** o processo de dosagem usado para sugestão de traço de concreto para *pavers* foi baseado no do Professor Doutor Paulo Alysson Brilhante Faheina de Souza.

Nos ensaios que foi preciso aferir massa de algum material, foram usadas as balanças da figura 3.3, que estão presentes no Laboratório de Materiais de Construção da UFRN. Para aferir o traço em massa na obra, foi usada uma balança doméstica CAMRY, modelo EB9013, cuja capacidade máxima é de 150 kg (figura 3.4). Ressalta-se que, durante a pesagem dos materiais do traço, a balança ficou sobre uma superfície plana e horizontal.

Figura 3.3 – Balanças: Shimadzu UX4200H (a), Even B30-1-BI (b) e Ohaus (c).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 3.4 – Balança usada para medir o traço em massa.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Para confecção dos corpos de prova do ensaio de resistência à compressão do cimento, utilizou-se a argamassadeira disponibilizada no Laboratório de Materiais de Construção da UFRN. O equipamento supracitado é mostrado na figura 3.5 .

Figura 3.5 – Argamassadeira



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Durante o ensaio de massa específica real do agregado miúdo, foi usado o frasco de Chapman presente no Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFRN, como mostra a figura 3.6. Para ensaios de resistência à compressão do cimento e dos blocos para pavimentação intertravada, foi utilizada a máquina universal AJ AMSLER modelo n/c eletro hidráulica, presente no Laboratório de Materiais de Construção da UFRN. A figura 3.7 mostra a prensa hidráulica.

Figura 3.6 – Frasco de Chapman



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 3.7 – Máquina Universal

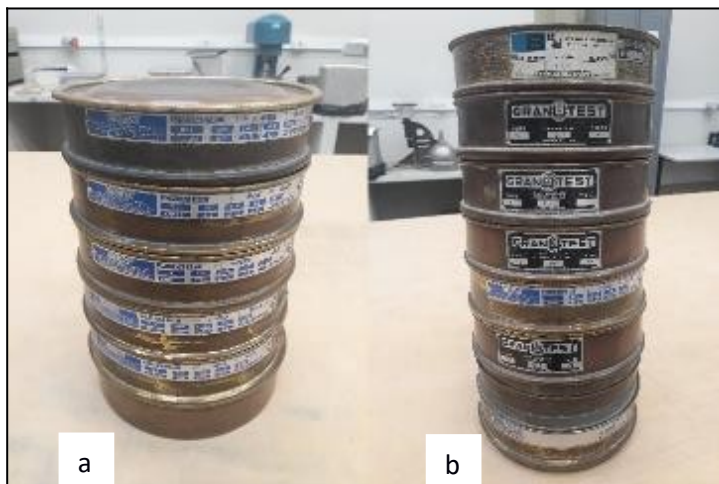


Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Para os ensaios de granulometria dos agregados, fez-se uso do jogo de peneiras disponibilizados pelo Laboratório de Materiais de Construção da UFRN. A figura 3.8 ilustra

as séries utilizadas para a brita e para a peneira. O ensaio de consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone foi realizado com o aparelho disponibilizado pelo Laboratório de Materiais de Construção da UFRN, que é mostrado figura 3.9.

Figura 3.8 – Peneiras para areia (a) e para brita (b).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 3.9 – Aparelho do *slump test*



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Para todos os ensaios que necessitaram de secagem, foi utilizada a estufa disponibilizada no Laboratório de Materiais de Construção da UFRN, mostrada na figura 3.10. Os ensaios para determinar a porcentagem de perda por abrasão, foi utilizada a

máquina “*Los Angeles*” presente no Laboratório de Materiais de Construção da UFRN (figura 3.11).

Figura 3.10 – Estufa FANEM Orion 515.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 3.11 – Máquina “*Los Angeles*” vista fronta (a) e perfil (b).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

No ensaio de massa unitária dos agregados e inchamento da areia, foi necessário utilizar um recipiente de volume conhecido disponível no Laboratório de Materiais de Construção da UFRN, como é mostrado na figura 3.12. Para reproduzir o traço estimado da central de produção, fez-se uso da mesa vibratória presente no Laboratório de Materiais de Construção da UFRN. Esse equipamento é mostrado na figura 3.13.

Figura 3.12 – Recipiente para massa unitária.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 3.13 – Mesa vibratória.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES DO ESTUDO

Neste capítulo, serão apresentados os resultados registrados por meio das observações em campo, analisando as influências desses na resistência à compressão das peças. Dessa maneira, abordar-se-ão aspectos na seguinte ordem: armazenamento e qualidade dos materiais, mistura, dosagem, lançamento, adensamento, transporte, cura do concreto, armazenamento das peças e análise da resistência à compressão.

O concreto é formado pela mistura entre cimento, areia, brita e água. Portanto, a qualidade desses materiais reflete diretamente nas características finais dos *pavers*. A seguir, são elencadas as propriedades dos materiais utilizados pela empresa desta pesquisa, bem como o armazenamento desses materiais.

- **Cimento**

Na central de produção, o cimento utilizado é da marca Montes Claros, do tipo CP V – Alta Resistência Inicial. De acordo com o catálogo disponibilizado no site da empresa (MONTES CLAROS, 2024), o aglomerante apresenta característica de secagem ultrarrápida, indicado para concretos estruturais, pisos especiais, pré-moldados, argamassas especiais, artefatos de concreto e obras de arte especiais. As embalagens que são utilizadas na produção contêm 40 quilogramas de cimento. A figura 4.1 mostra o produto.

Figura 4.1 – Cimento utilizado na central (a) foto do site (b).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A principal propriedade desse material é o ganho de resistência nos primeiros dias de hidratação. A ABCP (2002) afirma que a alta resistência inicial é atingida em virtude da moagem fina do cimento, associado a uma proporção diferenciada de calcário e argila na produção do clínquer.

A partir dos ensaios realizados para determinar a resistência à compressão do cimento, obteve-se os seguintes resultados apresentados na tabela 4.1. abaixo, que também os compara com os valores mínimos exigidos pela ABNT NBR 16697:2018 – Cimento Portland – Requisitos.

Tabela 4.1 – Resistência à compressão do cimento.

Corpo de Prova	Resistência à compressão (MPa)					
	1 dias		3 dias		7 dias	
	Resultado	ABNT	Resultado	ABNT	Resultado	ABNT
CP 01	15,89		23,55		27,55*	
CP 02	16,45		25,36		33,36	
CP 03	17,11		23,81		32,09	
CP 04	15,71		21,01*		36,21	
MÉDIA	16,4	14,0	24,2	24,0	33,9	34,0
Desvio relativo máximo	4,34%		4,62 %		6,86%	

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

A partir dos dados apresentados na tabela 4.1, percebe-se que o cimento possui a resistência muito próxima àquelas exigidas pela ABNT NBR 7215:2019. Contudo, observa-se que o desvio relativo máximo ultrapassa 6% para idade de 7 dias (6,86%), que é o limite máximo estabelecido pela ABNT NBR 7215:2019, bem como houve a necessidade de desconsiderar os resultados de alguns corpos de prova (marcados com asterisco). Embora não constatados sinais de hidratação, esses fatos certamente estão relacionados à idade do cimento, que fora fabricado no mês de julho, enquanto o ensaio fora realizado no mês de setembro.

Apesar dessas considerações, pressupõe-se que a qualidade do cimento não interfere negativamente na resistência à compressão dos *pavers* por duas razões. A primeira por esse material com menor idade, logicamente, apresentar resultados melhores

que os apresentados na tabela 4.1. Enquanto a segunda é pelo fato de o cimento não ficar acondicionado por muito tempo na empresa, havendo alta rotatividade.

Quanto ao armazenamento, o cimento fica estocado em pilhas de no máximo quinze sacos no depósito da central de produção, estando protegido de intemperes. Há um estrado de madeira separando-os do solo, todavia foi verificado que os sacos estavam encostados na parede dos fundos e próximos às paredes laterais. A figura 4.2 mostra a forma como o material é armazenado.

Figura 4.2 – Estocagem do cimento em pilhas (a) e detalhe dos cimentos em contato com a parede dos fundos (b).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Analisando a forma de estocagem do cimento pela figura 4.2, nota-se que há conformidade com as orientações da ABNT NBR 12655:2015, pois o cimento está guardado em pilhas de até 15 sacos, em local fechado e protegido da ação de intempéries. Porém, como foi dito no parágrafo anterior, os sacos de cimento que estão em contato com a parede podem absorver a umidade da mesma, fomentando um processo de hidratação precoce. Tal questão pode influenciar na perda de qualidade dos *pavers*.

- **Agregado miúdo**

A areia usada na produção dos *pavers* é de origem natural. Na central, não há baia adequada para estocagem da areia, estando disposta próxima à betoneira, na qual é

realizada a mistura do traço. Há contato do agregado miúdo com o solo e não há proteção contra intempéries (figura 4.3). Dessa maneira, por haver contato com o solo, o agregado miúdo pode contaminar-se com algum sólido ou líquido que prejudique o concreto, influenciando a resistência. Além disso, a ABNT NBR 12665:2015 recomenda que o agregado permaneça sobre uma base que permita o escoamento da água livre, visando eliminá-la. Tal condição não é atendida e isso pode deixar a areia mais úmida, influenciando na flutuação da relação/água cimento. Consequentemente esse fato pode promover a mitigação da resistência, bem como maior desvio padrão nos *pavers*.

Figura 4.3– Estocagem do agregado miúdo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Uma amostra da areia foi levada ao Laboratório de Materiais de Construção para determinar as seguintes características: granulometria, inchamento, teor de materiais pulverulentos, teor de matéria orgânica, massa específica real e aparente. A tabela 4.2 abaixo mostra os valores encontrados para alguns um desses parâmetros.

Tabela 4.2 – Parâmetros determinados da areia.

Parâmetro	Resultados
Massa Específica	2,62 g/cm ³
Massa Unitária	1,51 g/cm ³
Material Pulverulento	1,90%
Umidade	8,5%

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

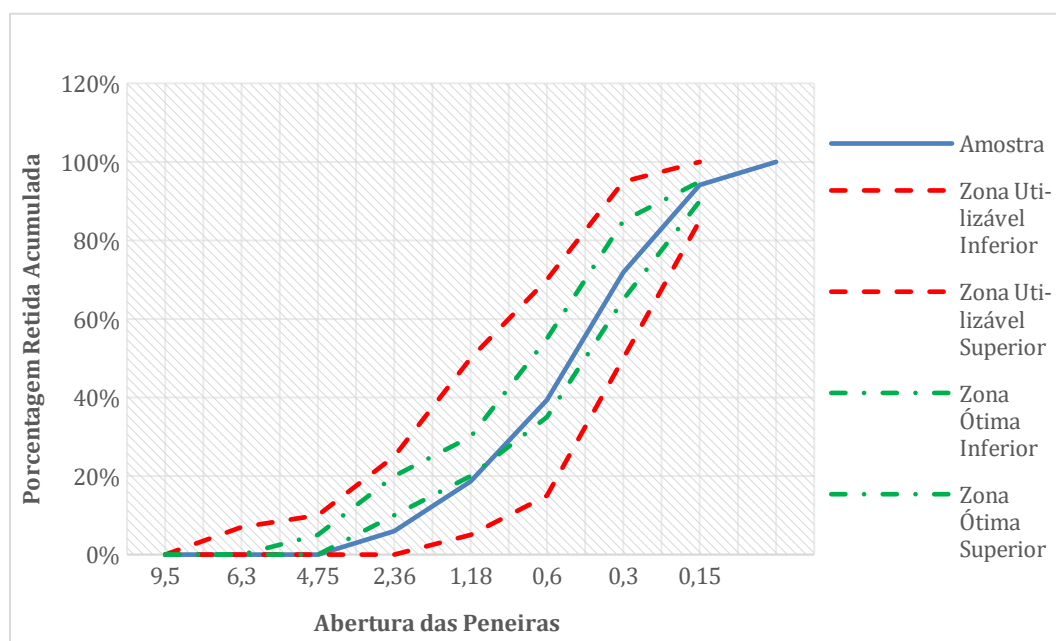
Diante desses dados, percebe-se que o teor de material pulverulento está abaixo do limite de 3% (concreto submetido a desgaste superficial) estabelecido pela ABNT NBR 7211:2015 – Agregados para concreto – Especificação. Dessa maneira, esse fator não interfere expressivamente na resistência das peças. Quanto à granulometria, obteve-se os resultados apresentados na tabela 4.3, que serviram para elaboração da curva granulométrica (figura 4.4).

Tabela 4.3 – Granulometria da areia.

Diâmetro da peneira	Retido (g)	Porcentagem (%)	
		Retido	Acumulado
4,8	0	0	0
2,4	29,8	5,97%	5,97%
1,2	63,1	12,65%	18,62%
0,6	103,4	20,73%	39,35%
0,3	162,2	32,52%	71,87%
0,15	111	22,25%	94,13%
0,15<	29,3	5,87%	100,00%
TOTAL	498,8		
Módulo de Finura		2,30	
Diâmetro Máximo		4,8	

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 4.4 – Curva granulométrica da areia.

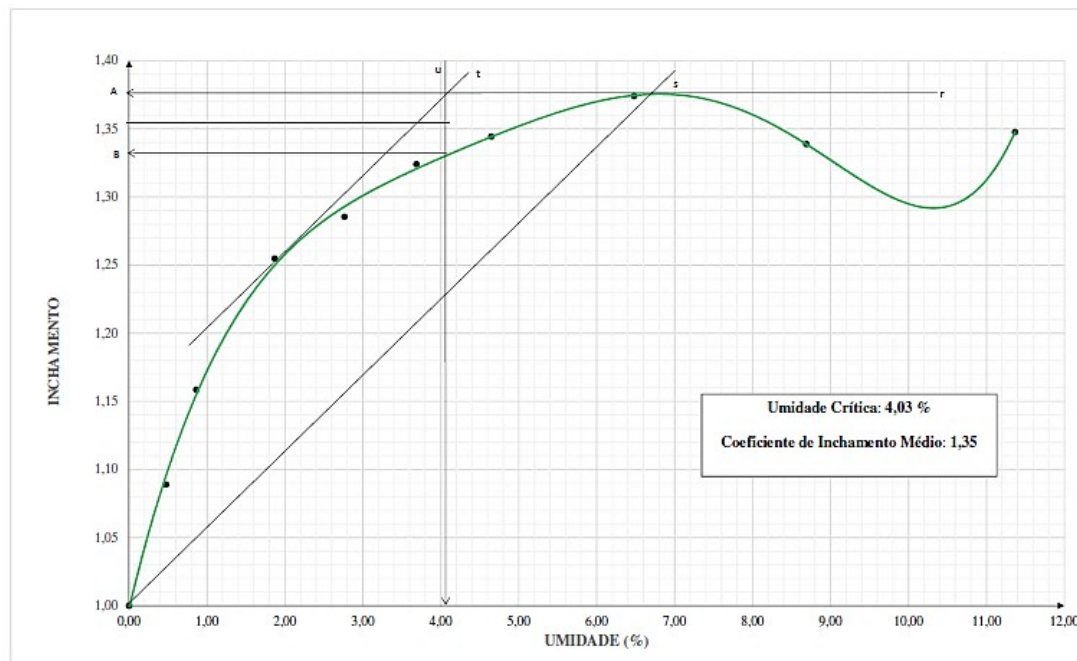


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Diante desses dados, percebe-se que a areia tem um módulo de finura na zona ótima, isto é, entre 2,20 a 2,90, como é estabelecido pela ABNT NBR 7211:2015. Ademais, como é mostrado na figura 4.5, a curva granulométrica está dentro da zona utilizável, acompanhando o limite da zona ótima inferior. Dessa forma, a granulometria da areia apresenta boas condições de graduação, favorecendo a trabalhabilidade do concreto e a resistência à compressão.

Como o agregado miúdo é medido em volume na dosagem e não há proteção contra chuva, é necessário também compreender o inchamento da areia, pois o volume dela pode aumentar com a variação da umidade. A figura 4.5 abaixo mostra a curva de inchamento da areia.

Figura 4.5 – Curva de inchamento da areia.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

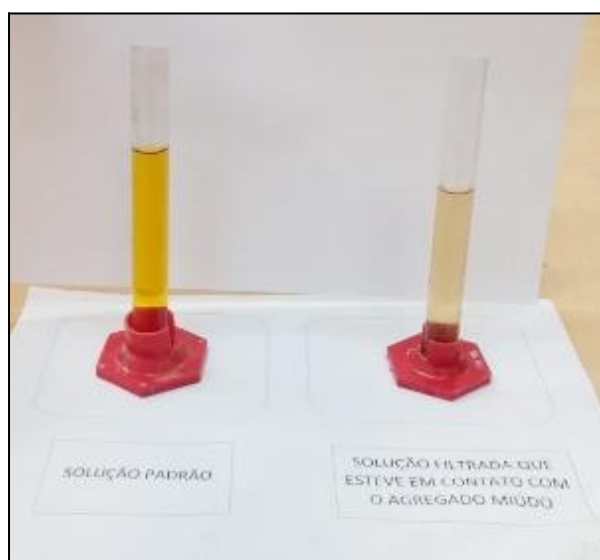
Diante da curva de inchamento, pode-se perceber que a umidade crítica é de 4,03%. Logo, para valores de umidade que sejam acima desse, a variação de volume tende a se manter constante. Dessa maneira, foram coletadas, em um dia qualquer, três amostras do agregado miúdo para determinar a umidade nas condições da central. A partir delas, chegou-se ao resultado de uma umidade média de 8,5 %. Esse valor permite compreender que, naquela situação, a areia estava com maior volume que aparentava

(cerca de 35% mais volumosa do que na condição seca). Tal condição implica que, em termos de massa, há uma variação da areia para medidas iguais de volume.

Isso é mais um indício de que a variabilidade da medida de areia também é influenciada pelo inchamento, uma vez que esse material pode ficar com uma umidade elevada em dias de chuva (pois não há cobertura na baia). Essa conjuntura pode corroborar com o aumento do desvio-padrão da resistência à compressão das peças.

Além desses ensaios, ainda foi realizado a determinação das impurezas orgânicas na areia para constatar se o teor estava de acordo com as especificações da ABNT NBR 12655. Após o ensaio, verificou-se que a cor da solução de NaOH filtrada que esteve em contato com o agregado miúdo tem a cor mais clara que a solução padrão (figura 4.6). Assim, constata-se que as impurezas orgânicas não afetam as propriedades do concreto.

Figura 4.6 – Resultado do ensaio de impurezas orgânicas.



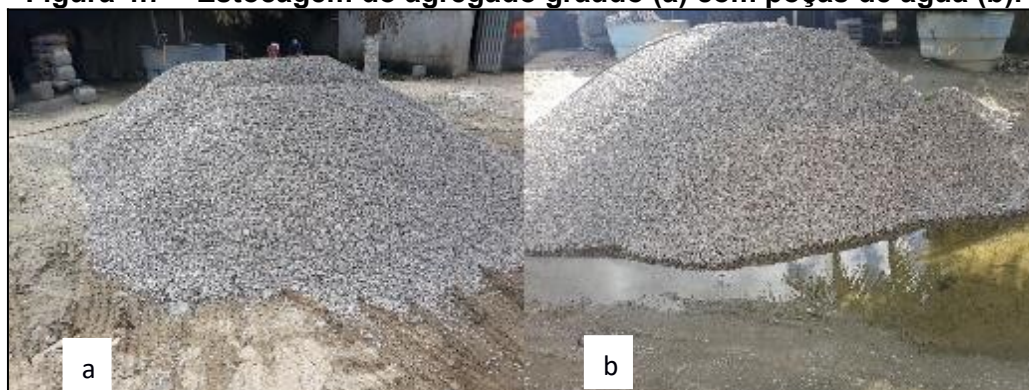
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Após todos os ensaios realizados, chega-se à conclusão de que o agregado miúdo utilizado na central de produção da empresa está de acordo com a ABNT NBR 12655:2015. Dessa maneira, as características da areia não afetam a resistência nem acentuam o desvio-padrão desse parâmetro. Contudo o inchamento da areia é um fenômeno que deve ser observado pela empresa.

- **Agregado graúdo**

Na central de produção, percebeu-se que a brita utilizada é de origem industrializada (originada da britagem de rochas). Ademais, constatou-se que, assim como a areia, a brita não é estocada em baias adequadas, havendo também contato com o solo. A figura 4.7 mostra o armazenamento do material.

Figura 4.7 – Estocagem do agregado graúdo (a) com poças de água (b).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Portanto, o contato com o solo pode propiciar a contaminação do agregado graúdo por sólidos ou líquidos deletérios para o concreto. Além disso, percebe-se pela figura 4.7b, que o agregado não está sobre uma base que permita o escoamento da água livre, de modo a eliminá-la. Tal condição acaba por aumentar a umidade do agregado graúdo, sobretudo em dias de chuva quando formam-se poças ao redor do agregado.

Foram levadas amostras ao Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFRN a fim de determinar a granulometria, absorção, teor de materiais pulverulentos, abrasão “Los Angeles”, índice de forma, massa específica e unitária. Alguns resultados obtidos são apresentados na tabela 4.4 abaixo.

Tabela 4.4 – Parâmetros determinados da brita.

Parâmetro	Resultados
Massa Específica	2,63 g/cm ³
Massa Unitária	1,44 g/cm ³
Absorção	0,54%
Materiais Pulverulentos	0,52%
Porcentagem de perda por abrasão (“Los Angeles”)	28,65%
Índice de forma	2,45

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Em campo notou-se que as britas possuíam, em sua superfície, uma camada aderida de finos e isso pode ser prejudicial à resistência, pois segundo Bauer (2000) essa fina camada dificulta a aderência da argamassa com o agregado graúdo. Porém diante dos dados expostos, pode-se perceber que a brita possui uma baixa absorção e o teor de materiais pulverulentos abaixo do limite estabelecido pela ABNT NBR 7211:2015 (que neste caso pode ser de 2%, pois a absorção é menor que 1%). Assim, essa substância nociva não altera significativamente a resistência potencial do concreto dos *pavers*.

Ainda analisando os dados da tabela 4.4, percebe-se que a brita também está de acordo com a ABNT NBR 7211:2015 no que diz respeito à perda por abrasão “Los Angeles”, uma vez que a porcentagem máxima da perda é de 50%, enquanto o material apresenta 28,65%. Assim, o concreto não terá a resistência à abrasão comprometida em virtude da qualidade da brita.

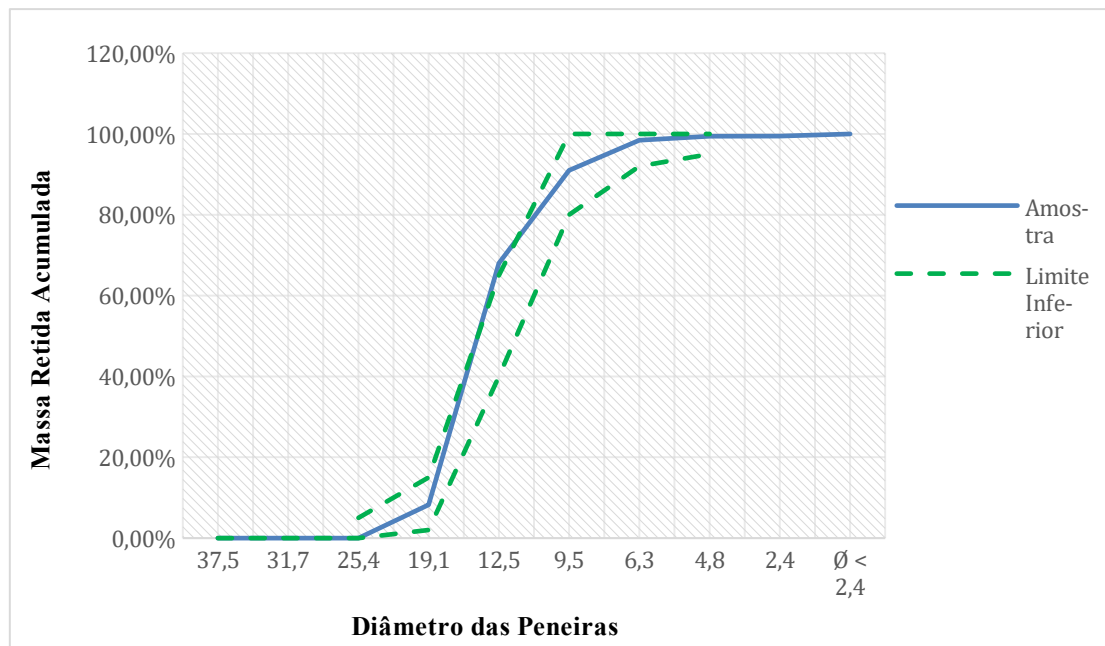
Também a partir da tabela 4.4, verificou-se que o índice de forma da brita (2,45) está abaixo do limite máximo estabelecido pela ABNT NBR 7211:2005, que é de 3. De acordo com Bauer (2000), a forma do agregado está diretamente ligada à trabalhabilidade do concreto, por exemplo grãos cuboide de brita resultam em melhor consistência do que grãos lamelares. Portanto, a brita confere uma trabalhabilidade adequada ao concreto e, logo, não requer adicionais de água excessivos.

Quanto à granulometria, foram obtidos os resultados apresentados na tabela 4.5, que serviram para elaboração da curva granulométrica (figura 4.9).

Tabela 4.5 – Granulometria da brita.

Granulometria				Limites ABNT	
Diâmetro da peneira	Retido (g)	Porcentagem (%)		Limite Inferior	Limite Superior
		Retido	Acumulado		
37,5	0	0,00%	0,00%	0%	-
31,7	0	0,00%	0,00%	0%	-
25,4	0	0,00%	0,00%	0%	5%
19,1	409,86	8,21%	8,21%	2,0%	15%
12,5	2984,23	59,78%	67,99%	40%	65%
9,5	1147,17	22,98%	90,97%	80%	100%
6,3	372,31	7,46%	98,43%	92%	100%
4,8	49,5	0,99%	99,42%	95%	100%
2,4	2,67	0,05%	99,48%	-	-
Ø < 2,4	26,17	0,52%	100,00%	-	-
TOTAL	4991,91				
Diâmetro Máximo				25,4 mm	

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 4.8 – Curva granulométrica da brita.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Percebe-se que a curva granulométrica fica dentro dos limites definidos pela ABNT NBR 7211:2015, excetuando-se pela abertura de 12,5 mm, na qual há um leve aumento (67,99% > 65%). Portanto, essa característica pode influenciar sutilmente na trabalhabilidade do concreto, exigindo um pouco mais de água. Todavia, tal situação não é um fator tão expressivo na variação da resistência das peças, pois a curva está no limiar da zona utilizável.

• Água de amassamento

Para a água de amassamento, a ABNT NBR 9781:2013 exige consonância com a ABNT NBR 15900-1:2009 - Água para amassamento do concreto - Parte 1: Requisitos. Dessa maneira, como a fonte desse insumo é proveniente de um poço no próprio terreno da central de produção (figura 4.10), é possível que a água seja utilizada como amassamento do concreto, desde que ensaiada inicialmente. A norma ainda recomenda que sejam feitos ensaios mensais comprovando desempenho adequado e, após isso, fazê-los com menos frequência.

Figura 4.9 – Fonte da água de amassamento (a) e coloração esverdeada da água (b)

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A qualidade da água é fundamental para um bom desempenho do concreto, pois impurezas podem interferir na reação de hidratação, alterando as propriedades no estado fresco e endurecido. Por exemplo, Kucche, Jamkar e Sadgir (2015) afirmam que uma água com pH baixo reduz a resistência à tração e à compressão e eles ainda acrescentam que os constituintes químicos presentes no líquido podem agir ativamente, alterando a pega, a resistência e a durabilidade. Dessa forma, foram realizados ensaios na água do poço como é recomendado pela ABNT NBR 15900-1:2009. A tabela 4.6 mostra os valores de cada parâmetro, comparando-os com o padrão da norma.

Tabela 4.6 – Parâmetros de água de amassamento.

Parâmetro	Valor Aferido	Limites da ABNT NBR 15900:2009
Óleos e gorduras	Sem traços visíveis	Não mais do que traços visíveis
Detergentes	Sem espuma	Espuma deve desaparecer em até 2 min.
Cor	Incolor	Amarelo clara a incolor
Material Sólido	38,00 mg/L	50000 mg/L
pH	5,32	pH $\geq$ 5
Matéria Orgânica	Mais clara que a solução padrão	Cor da água mais clara que a solução de NaOH
Cloretos	14,70 mg/L	4500 mg/L
Sulfatos	< 0,5 mg/L	2000 mg/L
Álcalis	14,00 mg/L	1500 mg/L

Fosfatos	< 0,10 mg/L	100 mg/L
Nitratos	0,90 mg/L	500 mg/L
Chumbo	< 0,10 mg/L	100 mg/L
Zinco	0,007 mg/L	100 mg/L

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024).

Após análise dos resultados, percebe-se que a água em si tem suas características dentro das exigências da ABNT NBR 15900:2009. Portanto, a qualidade da água é adequada para ser utilizada no amassamento do concreto. A água proveniente do poço é bombeada para um reservatório elevado e posteriormente levada a outro reservatório de polietileno que fica próximo à betoneira (figura 4.10b). Verificou-se que a água, no reservatório, apresenta a coloração esverdeada, como é mostrado também na figura 4.10b. Tal condição provavelmente é causada pelo lodo impregnado nas paredes da caixa d'água. Assim, pode-se verificar um desacordo com a ABNT NBR 12655:2015, uma vez que o armazenamento deveria ser em caixas limpas estanques e tampadas, evitando a contaminação por substâncias estranhas, impedindo possíveis alterações na qualidade final do concreto.

● Mistura

A mistura do concreto é realizada de forma mecanizada, com o uso de uma betoneira da marca Menegotti, com capacidade de quatrocentos litros. Nas observações de campo, verificou-se que os materiais são adicionados na seguinte ordem: brita, água, cimento e areia. Contudo, pode ser adicionado mais água se o operador da betoneira julgar necessário para atingir a consistência desejada, que é um *slump* médio de 100 milímetros após determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (figura 4.11). Ademais, ressalta-se que não se percebeu peneiramento da areia antes dela ser misturada. A figura 4.12 abaixo mostra a sequência da mistura na central de produção.

Figura 4.10 – *Slump Test* (a) e detalhe da medição (b).



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Figura 4.11 – Mistura do concreto: adição de brita (a), água (b), cimento (c), areia (d), ajuste da água (e) e mistura na betoneira (f).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

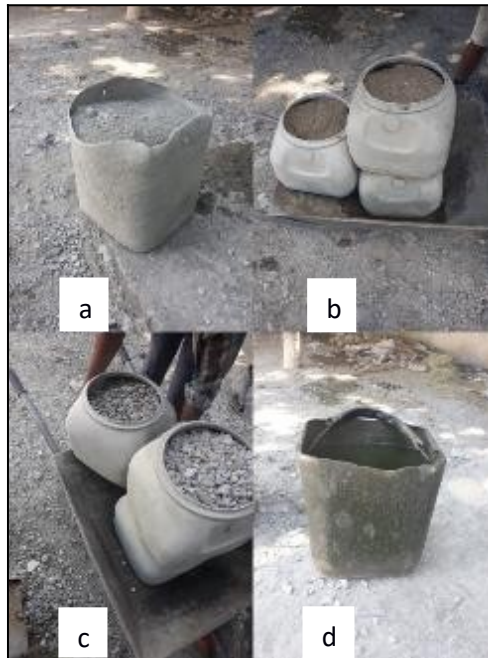
A ordem de mistura dos materiais na central de produção é consoante ao que é recomendado pelo manual de instruções da Menegotti. Além disso, o tempo desse

procedimento mencionado no manual é de pelo menos 2,5 minutos. Por outro lado, constatou-se que geralmente o tempo de carregamento dos materiais até o fim da mistura é entre 8 minutos a 10 minutos, sendo o tempo de mistura entre 2 a 3 minutos. Comparando também com a tabela 2.2, o tempo mínimo para uma betoneira de 400 litros é 1 min e 30s. Assim o tempo de mistura é aceitável. Além disso, pode-se notar na figura 4.12f que a betoneira está com volume abaixo da metade de sua capacidade. Essa condição está adequada, pois, como Verçoza (1987, p. 90) assevera: “nunca se deve encher toda a capacidade da cuba; deve-se aproveitar até um máximo de 60% a 65%”. Ademais, durante a investigação em campo, não foi constatada a presença de quaisquer sinalizações visuais, sobretudo quanto ao uso de padiolas específicas ou proporções dos traços.

- **Dosagem do concreto**

Quanto à dosagem, constata-se que todas as medidas são feitas em volume. O responsável da central afirmou que o traço é feito para uma resistência característica do concreto de 19 MPa. A proporção do traço utilizado na central é de aproximadamente metade de um saco de 40 kg de cimento (que é dividido sem medição em 1 balde), 3 baldes de brita, 3 baldes de areia e 1 balde de água. Todavia, como já foi dito anteriormente, pode ser adicionado mais água, geralmente o volume de 1 a 3 capacetes para proteção individual (figura 4.12e). Outrossim, o colaborador geralmente utiliza o volume de um carro de mão de areia em substituição aos 3 baldes. Os recipientes usados podem ser vistos na figura 4.13.

Figura 4.12 – Recipientes usados no traço: cimento (a), areia (b), brita (c) e água (d).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Diante disso, percebe-se uma inadequação quanto à forma de dosagem na central, principalmente quanto ao traço de 19 MPa, pois a ABNT NBR 9781:2013 exige no mínimo 35 MPa. Além disso, ABNT NBR 12655:2015 recomenda, para concretos classe C25 e superiores, que o cimento e agregados sejam medidos em massa e a água em massa ou volume, corrigida em função da umidade dos agregados. A mesma norma ainda permite que os agregados sejam medidos em volume para concretos produzidos no canteiro de obras. Apesar disso, a medição em volume pode acentuar a variabilidade da resistência.

Desses apontamentos, ressalta-se a questão do fracionamento do cimento. A medida em volume desse material fomenta à falta de uniformidade nos traços e consequentemente leva à flutuação na resistência do concreto. Recomenda-se utilizar o saco em sua totalidade, pois é uma medida em massa (40 quilos, neste caso). Destaca-se ainda que geralmente, em dias de chuva, há um cuidado de colocar menos água, porém não há aferição da umidade do agregado miúdo. Dessa maneira, não há uma correção precisa da umidade. Várias medições foram realizadas em campo com a finalidade de aferir o traço em massa, utilizando o material descrito no item 3.4.1. A tabela 4.7 a seguir mostra os resultados obtidos nas medições.

Tabela 4.7 – Aferição do traço em massa.

	CIMENTO (kg)	AREIA (kg)	BRITA (kg)	ÁGUA (kg)
MEDIÇÃO 01	22,2	92,1	98,5	16,2
MEDIÇÃO 02	21,3	90,2	97,3	16,5
MEDIÇÃO 03	19,2	89,3	97,3	16,5
MEDIÇÃO 04	19,4	96,8	96,8	16,0
MEDIÇÃO 05	18,9	96,3	97,5	15,6
MÉDIA	20,0	92,9	97,5	16,0

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Assim, chega-se ao resultado médio do traço em massa utilizado, mostrado na tabela 4.8 abaixo:

Tabela 4.8 – Proporção do traço em massa.

	CIMENTO (kg)	AREIA (kg)	BRITA (kg)	ÁGUA (kg)
MEDIÇÃO 01	1	4,22	4,51	0,73
MEDIÇÃO 02	1	4,31	4,65	0,77
MEDIÇÃO 03	1	4,74	5,17	0,86
MEDIÇÃO 04	1	4,99	4,99	0,83
MEDIÇÃO 05	1	5,10	5,16	0,83
MÉDIA	1	4,67	4,90	0,80

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A partir desses dados, percebe-se que a relação água/cimento é bastante elevada (0,80). Tal condição propicia a perda drástica de resistência à compressão do concreto. De acordo com Mehta e Monteiro (2006), o número de vazios capilares na pasta está relacionada à quantidade de água adicionada na pasta. Ainda, segundo o autor, há uma relação inversa entre resistência e porosidade nos sólidos. Certamente, essa relação deve-se ao valor da consistência de 100 mm. Destaca-se ainda que o fator água/cimento apresentado é em função da massa de areia não corrigida, isto é, provavelmente ele sofre um aumento por conta da umidade. Além disso, há uma relação exacerbada de areia e brita. Por exemplo, para Verçoza (1987), uma brita de 25 mm tem uma porcentagem ótima

de areia de 50% do agregado graúdo. Essa porcentagem garante uma boa graduação e a diminuição máxima da quantidade de pasta, proporcionando menor custo.

Ressalta-se ainda que o teor de água/mistura seca é baixo. Tal condição acaba por interferir diretamente na trabalhabilidade do concreto, havendo a necessidade de mais água, que é suprida pela umidade presente na areia ou pelos adicionais feitos pelo operador da mistura. Assim, essa condição interfere de forma significativa na relação/água cimento e consequentemente na resistência dos *pavers*. Além disso, não foi percebida a presença de um profissional que esteja presente durante todo o expediente de trabalho, de maneira a prestar assistência tecnológica. Dessa maneira, e com o traço medido em volume, o desvio-padrão da resistência é muito mais amplo. A ABNT 12655:2015 indica que, para essas condições, o desvio-padrão a ser adotado na dosagem é de 7,0 MPa. Se houvesse um assistente sempre presente, esse valor diminuiria para 5,5 MPa. Assim, a falta de um profissional fiscalizando o processo da produção é um fator que contribui fortemente na diminuição da resistência das peças.

- **Lançamento**

O lançamento do concreto consiste em duas etapas: a primeira é a deposição do concreto fresco da betoneira para um recipiente intermediário; em seguida, ele é lançado nas formas já com desmoldante, com auxílio de uma concha (figura 4.14). Ressalta-se que, antes dessas etapas, é colocada uma camada de argamassa na forma, cuja finalidade é aumentar a resistência à abrasão, segundo o responsável da central. A argamassa tem um traço de meio balde de cimento para dois de areia. Nesse procedimento, de acordo com Bauer (2000), o tempo de lançamento deve ser de no máximo uma hora, contado a partir do ato de colocar o concreto nas formas até finda a agitação mecânica. De fato, constatou-se que esse intervalo de tempo é menor que uma hora e por isso está adequado. Assim, não é um dos fatores de influência da perda de resistência.

Figura 4.13 – Lançamento.

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- **Adensamento**

Pelas observações em campo, percebeu-se que o concreto é adensado após lançado nas formas. Este procedimento é realizado por meio de uma mesa vibratória, na qual geralmente são postas, na mesa, pilhas de até cinco formas. O mais recomendado é que as peças sejam dispostas horizontalmente ao longo da mesa, uma vez que, quando empilhadas, o adensamento pode ter sua eficiência diminuída. Essa condição pode propiciar o aumento do desvio-padrão da resistência à compressão. A figura 4.15 abaixo mostra o adensamento dos *pavers*.

Figura 4.14 – Adensamento das peças na mesa (a) e peças adensadas em pilhas (b).

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O tempo de adensamento não é controlado e as peças permanecem vibrando até serem transportadas. Nessa condição, ocorre o seguinte: o colaborador 1, responsável por

lançar o concreto nas formas, põe as peças na mesa vibratória e o colaborador 2, responsável pelo transporte, coloca-as no suporte; quando atingida a capacidade máxima para transporte, os *pavers* são levados e o colaborador 1 permanece pondo peças na mesa vibratória, sendo estas adensadas até o retorno do colaborador 2 e assim o ciclo repete-se.

Isso implica que algumas peças passam muito mais tempo adensando em relação a outras. Tal situação intensifica a variação do adensamento dos *pavers* e conseqüentemente a resistência à compressão. Algumas formas são enchidas além do necessário e possuem elevada fluidez, apresentando o aspecto apresentado na figura 4.16.

Figura 4.15 – Aspecto das peças após o adensamento.



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

- **Transporte**

Após o adensamento na mesa vibratória, as peças nas formas são transportadas até a região de secagem, através de um suporte plano motorizado pela tração animal de acordo com a figura 4.17.

Figura 4.16 – Transporte das peças nas formas (a) e vista de perfil (b).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Em campo, averiguou-se que o deslocamento das peças até o local de secagem é rápido, entre três e cinco minutos. Durante esse procedimento, as peças estão vulneráveis a sofrerem uma vibração adicional aleatória causada pelo terreno irregular. Essa condição pode influenciar nas propriedades mecânicas dos *pavers* de maneira mais sutil.

- **Cura**

Após transportadas para região de secagem, as peças permanecem até o desmolde. Verificou-se que não há cura em meio saturado, apenas ao ar. Além disso, observou-se que os *pavers*, no processo de secagem, têm contato direto com a luz solar. A figura 4.11 mostra como as peças são arranjadas na secagem e a cura ao ar.

Figura 4.17 – Secagem das peças.



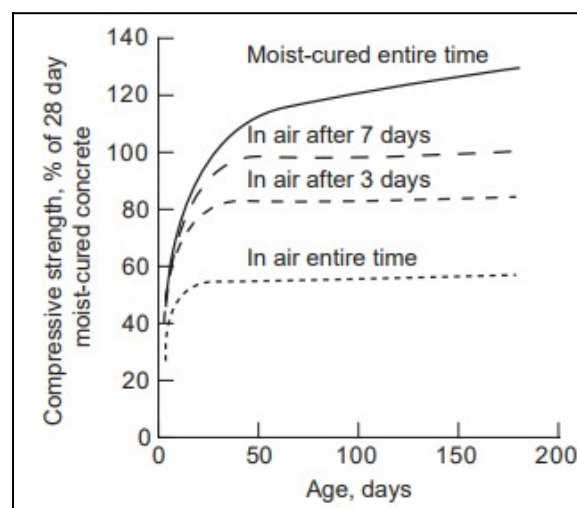
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O fato de as peças estarem expostas à radiação solar nas primeiras horas de secagem é bastante nocivo a sua qualidade final, uma vez que:

[...] quando o concreto foi lançado há pouco tempo, é ele muito sensível à ação do Sol e do vento que, provocando a evaporação da mistura, impossibilita a plena hidratação do cimento, além de promover um forte aumento no fenômeno da retração, responsável pelo aparecimento de fissuras e trincas, o que torna o concreto menos resistente e mais suscetível ao ataque de agentes agressivos. (BAUER, 2000, p. 262)

Além desse fato, deve-se ressaltar que o método utilizado da cura ao ar não é tão eficiente quanto os métodos de cura em meio saturado, no que concerne à resistência. Por exemplo, em estudo realizado por Bresolin (2016), o autor conclui que a cura ao ar pode comprometer a resistência do concreto e, em contrapartida, a cura em meio saturado é ideal para o desenvolvimento da resistência à compressão. Essa condição fica clara nos estudos de Petrucci (1975 apud BAUER, 2000), que assegura que a resistência do concreto submetido à cura ao ar é cerca de 40% menor que a cura em meio saturado. Mehta e Monteiro (2006) também corroboram com essa linha de pensamento ao afirmarem que quanto mais longos os períodos de cura maior será a resistência do concreto como é mostrado na figura 4.19.

Figura 4.18 – Eficiência da cura úmida frente à cura ao ar.



Fonte: Mehta e Monteiro (2006).

Assim a exposição à luz solar nas primeiras horas de secagem, combinada com a cura ao ar são fatores de forte influência na variação da resistência característica à compressão dos *pavers*.

- **Estocagem das peças**

Após desforma, os *pavers* são empilhados em uma região específica da central de produção. Eles permanecem dessa maneira até a chegada do carregamento, realizada por caminhões. Ressalta-se que as peças não são postas sobre paletes de madeira, tendo contato com o solo diretamente, como é mostrado na figura 4.19 abaixo.

Figura 4.19 – Armazenado das peças (a) e *pavers* em contato com o solo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O ideal seria que as peças fossem empilhadas sobre paletes para evitar quebras como afirma Marchioni (2012).

- **Resistência dos *Pavers***

Uma amostra de dez peças pré-moldadas foi coletada na central para executar o ensaio de resistência à compressão. Com a finalidade de confrontar os resultados obtidos, fabricaram-se dez peças com as mesmas características geométricas no Laboratório de Materiais de Construção da UFRN de modo a reproduzir o traço utilizado pela empresa em sua produção. Para isso, os materiais utilizados foram os mesmos que os da empresa, excetuando-se o cimento, cuja marca é Apodi (CPV-ARI). Esse insumo passou pelo teste

de resistência do cimento de acordo com a ABNT NBR 7215:2019, sendo utilizável para essas condições.

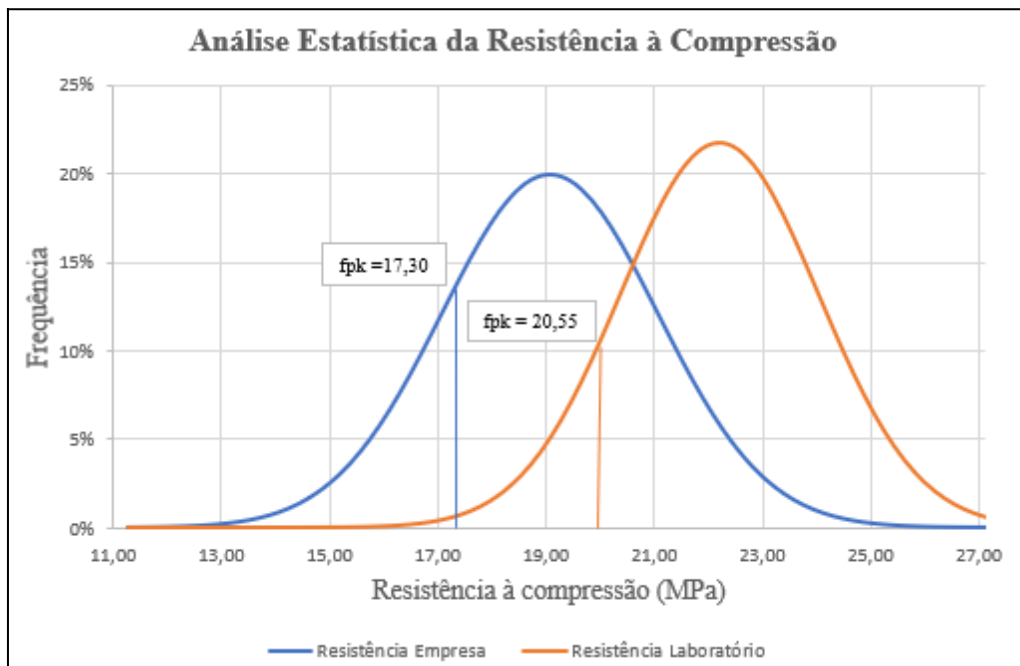
Assim, com todas as condições adequadas de armazenamento de materiais, mistura, adensamento e cura, pode-se verificar se correções nesses aspectos melhorariam a resistência, sem necessidade de modificar o traço. Os resultados de cada uma das peças seguido da resistência característica dos *pavers* em ambas as condições é mostrada na tabela 4.9 abaixo.

Tabela 4.9 – Resistência característica dos *pavers* no Laboratório e na central.

Corpo de Prova	Resistência à compressão corrigida empresa (MPa)	Resistência à compressão corrigida laboratório (MPa)
CP 01	16,25	22,02
CP 02	18,59	24,29
CP 03	21,61	24,62
CP 04	15,41	20,27
CP 05	19,76	19,60
CP 06	17,92	22,69
CP 07	20,43	23,11
CP 08	20,60	20,94
CP 09	20,10	-
CP 10	19,93	-
f_{pk}	17,30	20,55

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A partir dos dados da tabela 4.9 é possível elaborar uma análise estatística por base na curva de Gauss como é mostrado na figura 4.20.

Figura 4.20 – Análise estatística: Empresa x Laboratório.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Ressalta-se que, na moldagem em laboratório, o traço apresentou um abatimento de 10 mm. Em contrapartida, na empresa, o valor do abatimento é de cerca de 100 milímetros. Esse contraste deve-se pelo traço utilizado no laboratório ser o estimado na tabela 4.8 (1: 4,67: 4,90: 0,80), em que não há correção de umidade dos agregados. Dessa maneira, a reprodução do traço foi executada com o agregado miúdo seco em estufa enquanto, na central, a areia apresenta alta umidade (8%). Nesse caso, a umidade tem elevada influência, pois o agregado miúdo também tem massa elevada (cerca de 90 kg). Portanto, esse foi um dos fatores de redução do *slump* do traço feito no laboratório.

O outro fator que reduziu o abatimento foi o fato de, na empresa, sempre haver adicionais de água para melhorar a trabalhabilidade do concreto. Esses adicionais não foram contabilizados no traço estimado da tabela 4.8, que foi reproduzido no laboratório. Todavia, ainda se adicionou 10% na relação água cimento, totalizando um teor de 0,90. Mesmo assim, não foi atingido o abatimento da central.

Esses fatores indicam que a relação água/cimento é ainda maior que aquela estimada nas medições da tabela 4.8. É, portanto, considerável o efeito da umidade e dos adicionais de água na resistência à compressão dos *pavers* da empresa. Apesar dessas questões, optou-se por reproduzir o traço estimado com o abatimento de 10 mm, adensando o concreto na mesa vibratória. Em um ambiente controlado, há, portanto,

melhor desempenho do traço, mas não se chega à resistência de 35 MPa exigida pela ABNT NBR 9781:2013. Diante disso, fez-se uma proposta de traço pelo método do Professor Dr. Paulo Alysson Faheina de Souza. A dosagem é para 35 MPa com um abatimento de 100 mm, apresentada na tabela 4.10 abaixo.

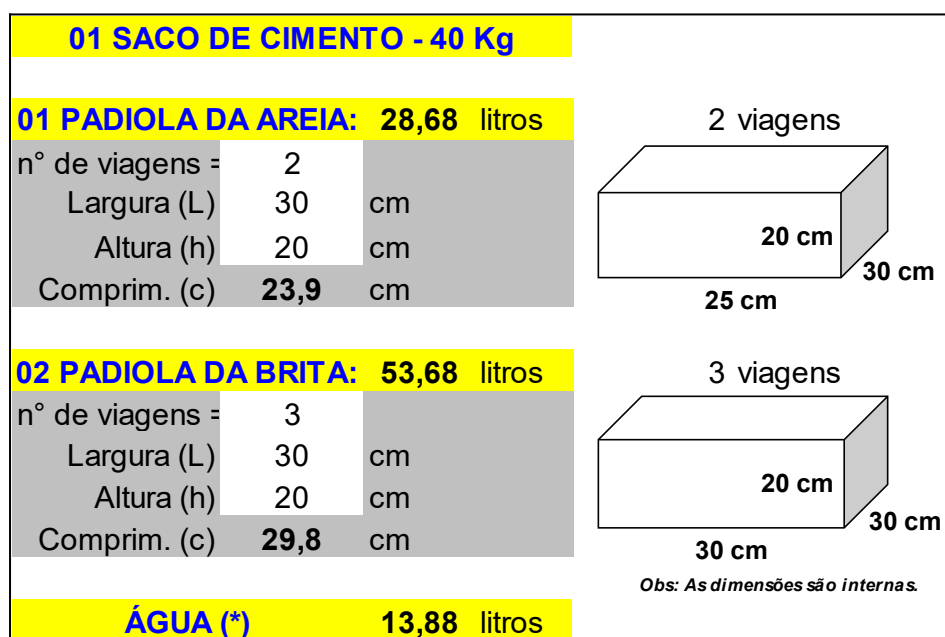
Tabela 4.10 – Proposta de dosagem.

Traço utilizado na empresa em massa	1 : 4,67 : 4,90 : 0,80
Traço proposto em massa	1 : 1,19 : 2,12 : 0,38
Traço proposto em volume	1 : 1,02 : 1,92 : 0,50

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Para efeitos práticos, as padiolas são mostradas na figura 4.20 abaixo:

Figura 4.21 – Padiolas do traço proposto.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Além disso, deve-se verificar a viabilidade econômica da implantação do traço proposto quando comparado ao atual. Para tanto, foram calculados os custos totais para 1 m³ de concreto e uma betonada para ambas as proporções. Salienta-se que o responsável pela central disponibilizou os valores dos custos unitários dos insumos. Esses dados são apresentados pelas tabelas 4.11 e 4.12 a seguir.

Tabela 4.11 – Comparação entre o custo por 1m³ dos traços.

Custo por 1m³ de concreto						
Insumo	Unidade	Custo Unitário (R\$)	Traço atual		Traço proposto	
			Quantidade	Custo Total (R\$)	Quantidade	Custo Total (R\$)
Cimento	saco	19,50	5,24	102,26	12,72	248,03
Areia	m³	28,00	0,65	18,17	0,40	11,20
Brita	m³	80,00	0,72	57,25	0,75	60,02
TOTAL				177,68		319,25

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Tabela 4.12 – Comparação entre o custo por betonada dos traços.

Custo por betonada						
Insumo	Unidade	Custo Unitário (R\$)	Traço atual		Traço proposto	
			Quantidade	Custo Total (R\$)	Quantidade	Custo Total (R\$)
Cimento	saco	19,50	0,50	9,73	1,21	23,60
Areia	m³	28,00	0,09	2,60	0,04	1,12
Brita	m³	80,00	0,10	7,80	0,07	5,60
TOTAL				20,13		30,32

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Diante desses dados, percebe-se claramente que o traço proposto é mais dispendioso. Contudo, esse valor está associado a maior quantidade de cimento quando comparado ao utilizado atualmente na central de concretagem. Esse aumento deve-se principalmente ao abatimento alto (100 mm) e às condições de controle tecnológico. Dessa maneira, existe um entrave financeiro, pois há um custo de 79,80% maior por metro cúbico de concreto produzido. Porém, pode-se fazer um estudo futuro de traço com aditivo de modo minimizar o consumo de cimento para viabilizá-lo economicamente.

Todavia, ressalta-se que a fabricação manual dos *pavers* é onerosa inevitavelmente, pois requer um concreto plástico para resistências altas. Por exemplo, Fernandes (2014) afirma que peças para pavimentação produzidas com concreto plástico possuem um alto consumo de cimento. Como esse é o insumo mais caro do traço, o custo aumenta proporcionalmente. Portanto, com a finalidade de garantir economia a longo prazo, o uso de processos mecanizados é uma alternativa que deve ser avaliada em estudos futuros.

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos dados expostos nos capítulos anteriores, percebe-se que o traço do concreto é insuficiente de alcançar a resistência de 35 MPa exigida pela ABNT NBR 9781:2013. Assim, mesmo que sejam estabelecidas mudanças nos outros processos (cura, adensamento, dosagem em volume, estocagem de materiais etc.), não se conseguirá elevar a qualidade das peças ao nível satisfatório. Então, algumas medidas de intervenção serão sugeridas, antes, porém, deve-se explicitar as causas preponderantes e aquelas menos expressivas.

Primeiramente, é necessário elencar os fatores que não contribuem com o aumento do desvio-padrão de forma significativa:

- Os materiais (cimento, areia, brita e água) estão de acordo com as prescrições normativas e, portanto, não interferem negativamente na resistência à compressão;
- A forma como a mistura é realizada é de acordo com o fabricante e com as sugestões da literatura, logo essas condições não agravam o desvio-padrão;
- A condição de transporte e lançamento podem ser mantidas.

Por outro lado, destacam-se condições que interferem de forma mais agudizada nas propriedades dos *pavers*:

- A proporção do traço tem alta relação água/cimento, sendo incapaz de atingir a resistência à compressão de 35 MPa;
- Aumento da relação água cimento pela umidade da areia e das adições de água sem controle;
- A cura em um ambiente exposto ao sol ao invés de meio saturado;
- Ausência de um profissional qualificado que esteja fiscalizando a produção durante todo o expediente dos colaboradores;
- Em menor grau, ainda se tem algumas deficiências que podem corroborar com a variabilidade da resistência dos *pavers*:

- O adensamento variável das peças acaba por contribuir para acentuar o desvio-padrão da resistência;
- O estoque do material: cimento encostado nas paredes; areia e britas expostas à chuva e sem base plana e em contato com o solo;
- A dosagem ser realizada em volume em vez de ser em massa;

Portanto, após essas conclusões, pode-se elaborar algumas sugestões de melhoria no processo produtivo da empresa. A primeira seria a mudança da dosagem do traço: fazer uma dosagem que utilize o cimento em massa (1 saco de cimento), diminuir a relação água/cimento e utilizar um dispositivo dosador para água.

A segunda seria utilizar o processo de cura em meio saturado pelo método de molhagem. As peças devem ser molhadas por pelo menos 7 dias, de modo a evitar que sua superfície fique seca. Destaca-se também a construção de tendas para evitar o contato das peças frescas com o sol.

A terceira medida seria a contratação de profissional para fiscalizar a produção de concreto durante todo o expediente. Dessa maneira, pode-se controlar todo o processo produtivo, agindo em falhas localizadas e garantindo assim uma melhor qualidade dos *pavers*.

Além disso destacam-se outras possíveis melhorias mais como:

- Estocar o material de forma adequada: cimento, brita, areia e água devem ser armazenadas de acordo com a ABNR NBR 12655:2015;
- Adensar as peças todas num mesmo tempo e dispô-las uniformemente sobre a mesa vibratória;
- Peneirar a areia antes de realizar a mistura;
- Optar por um traço dosado em massa;
- Implementar o traço proposto nesta pesquisa, com o possível uso de aditivo afim de propiciar viabilidade econômica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). Guide for measuring, mixing, transporting, and placing concrete; ACI 304R/89. In _____. **Manual of concrete practice**. Detroit, 1995. v. 2.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do Cimento Portland**. 7. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2002.

_____. **Manual de Pavimento Intertravado**: Passeio Público. Associação Brasileira de Cimento Portland: São Paulo, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

_____. **NBR 6467**: agregados: determinação do inchamento de agregado miúdo: método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

_____. **NBR 7215**: cimento Portland: determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

_____. **NBR 7809**: agregado graúdo: determinação do índice de forma pelo método do paquímetro: método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. **NBR 9781**: peças de concreto para pavimentação: especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. **NBR 12654**: controle tecnológico de materiais componentes do concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

_____. **NBR 12655**: concreto de cimento Portland: preparo, controle e recebimento: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. **NBR 14931**: execução de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. **NBR 15900-1**: água para amassamento do concreto: Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR 16697**: cimento Portland: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

_____. **NBR NM 45**: agregado miúdo: determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

_____. **NBR NM 46:** agregados: determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. **NBR NM 49:** agregado miúdo: determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

_____. **NBR NM 45:** agregados: determinação da massa unitária e volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

_____. **NBR NM 51:** agregado graúdo: ensaio de abrasão “*Los Angeles*”. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

_____. **NBR NM 52:** agregado miúdo: determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009

_____. **NBR NM 53:** agregado graúdo: determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

_____. **NBR NM 67:** concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

_____. **NBR NM 248:** agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. Preparo, Transporte, Lançamento, Adensamento e Cura. In: _____. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. p. 240-264.

BAZZO, Walter Antônio; PEREIRA, Luiz Teixeira do Vale. **Introdução à Engenharia:** Conceitos, Ferramentas e Comportamentos. Florianópolis: UFSC, 2006.

BITTENCOURT, Sarah Ferreira. **Avaliação da Resistência à Compressão de Pavers Produzidos com Agregados de Resíduos de Construção e Demolição e Areia de Fundação**. 2012. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2012.

BRESOLIN, Gustavo. **Influência das Técnicas de Cura na Resistência do Concreto e Análise da Incorporação de Cal Hidratada na Técnica de Cura por Aspersão Periódica de Água**. 2016. 100 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2016.

BRITO, Gabriela do Prado Sá. **Estudo da Viabilidade Técnica de Paver com Resíduo de Pneu em Substituição Parcial dos Agregados**. 2013. 78 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2013.

CLEMENTINO, Filipe de Castro; BARROS, Guilherme Rezende; SANTOS, Pedro Guilherme Dias e. **Processo Produtivo em uma Indústria de Artefatos de**

Concreto. 2013. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

CRUZ, L. O. M. **Pavimento Intertravado de Concreto: Estudo dos Elementos e Métodos de Dimensionamento.** 2003, Tese M. Sc.COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 2003.

ESTADOS UNIDOS. Dept. of the Interior. Bureau of Reclamation. **Concrete manual.** 8.ed.rev. Denver, 1981.

FERNANDES, Idário. Como diminuir o desvio padrão no processo produtivo de blocos e pavers. **Concrete Plant International**, São Paulo, p.64-65, maio 2014. Disponível em: <<https://www.cpi-worldwide.com/br/journals/artikel/37192>>. Acesso em: 05 abr. 2019.

FIORITI, C. F. **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo.** São Carlos. 202p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

GODINHO, Dalter Pacheco. **Pavimento Intertravado: Uma Reflexão Sob à Ótica da Durabilidade e Sustentabilidade.** 2009. 158 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

HELENE, Paulo Rodrigo Lago; TERZIAN, Paulo Roberto. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto.** Brasília: SENAI, 1992.

Interlocking Concrete Pavement Institute, Tech Spec. Nº 4, 2002, “Structural Design of Interlocking Concrete Pavement for Roads and Parking Lots”, Washington, USA.

KUCCHE, K. J.; JAMKAR, S. S.; SADGIR, P. A. Quality of Water for Making Concrete: A Review of Literature. **International Journal Of Scientific And Research Publications**, [S.l.], v. 5, n. 1, p.1-10, jan. 2015.

MARCHIONI, Mariana Lobo. **Desenvolvimento de técnicas para caracterização de concreto seco utilizado na fabricação de peças de concreto para pavimentação intertravada.** 2012. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

MENEGOTTI INDÚSTRIAS METALÚRGICAS LTDA. **Manual de instruções:** betoneira de 400 litros. Jaraguá do Sul: [s.n.], 2012.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete:** Microstructure, Properties, and Materials. 3 ed. [s.l.]: McGraw-Hill, 2006.

MONTES CLAROS. **Produtos**. Disponível em: <<https://cimentomontesclaros.com.br/produtos/>>. Acesso em: 23 jul. 2019.

MÜLLER, R. M. **Avaliação de transmissão de esforços de pavimentos intertravados de blocos de Concreto**. 2005, Tese M. Sc.COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 2005.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

PEINADO, Hugo Sefrian. **Conheça as alternativas para fazer a cura de elementos de concreto**. 2013. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/201/artigo302570-1.aspx>>. Acesso em: 22 abr. 2019.

SOBRAL, Hernani Sávio. **Propriedades do concreto fresco**. 5.ed. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2000. 32 p.

T&A BLOCOS E PISOS. **Manual técnico de piso intertravado de concreto**. Fortaleza: T&A Blocos e Pisos, 2004. 46 p.

TUTIKIAN, Bernardo F.; HELENE, Paulo. Dosagem dos Concretos de Cimento Portland. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 3. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2011. Cap. 12.

VERÇOZA, Enio José. **Materiais de construção**. 3. ed. Porto Alegre: Sagra, 1987. 2 v.

WIEBBELLING, Paula Orvana Guimarães. **Pavimento com Blocos Intertravados de Concreto: Estudo de Caso na Univates**. 2015. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2015.

SOBRE OS AUTORES

UESLEI SILVA NUNES

Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2023), com especialidade em Materiais e Componentes de Construção. Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2019). Desenvolve pesquisa na área de materiais cimentícios suplementares - ênfase no cimento ternário de calcário e argila calcinada, LC³ - com aplicação na automação da construção por meio da impressão 3D de argamassas (3DCP). Atualmente, é professor substituto no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, campus São Paulo do Potengi.

THALITA DAYANE DE MELO MENDES SABINO

Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2023), com especialidade em Materiais e Componentes de Construção. Especialista em Dimensionamento e Patologia de estruturas de concreto pelo Centro Universitário do Rio Grande do Norte (2019). Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Potiguar (2017) e em Ciências e Tecnologia pela Universidade Federal do Semi-Árido (2014). Atuou em projetos de pesquisa pela UNIRN e projetos de extensão pela UFRN. Foi assessora de projetos dos Engenheiros Sem Fronteiras de 2018 a 2022 (UFRN). Atuou como Engenheira de restauros em obras de restauração de prédios históricos tombados, de 2019 a 2023. Tem experiência na área de Engenharia Civil, atuando principalmente com Obras de restauração, Patologia das construções, e produção de cimentos com baixo teor de clínquer. No âmbito acadêmico, participa de comissões avaliadoras, e coorientações de TCCs do curso de Engenharia Civil da UFRN, desde 2022.



ISBN 978-655376396-8



9

786553

763968