
Módulo 2

Modelo Diagnóstico da Aprendizagem Baseada em Projetos:

Uma rede complexa multicamada para análise das centralidades e similaridades nos processos PBL

Autores:

Juliana de Santana Silva

Herman Augusto Lepikson

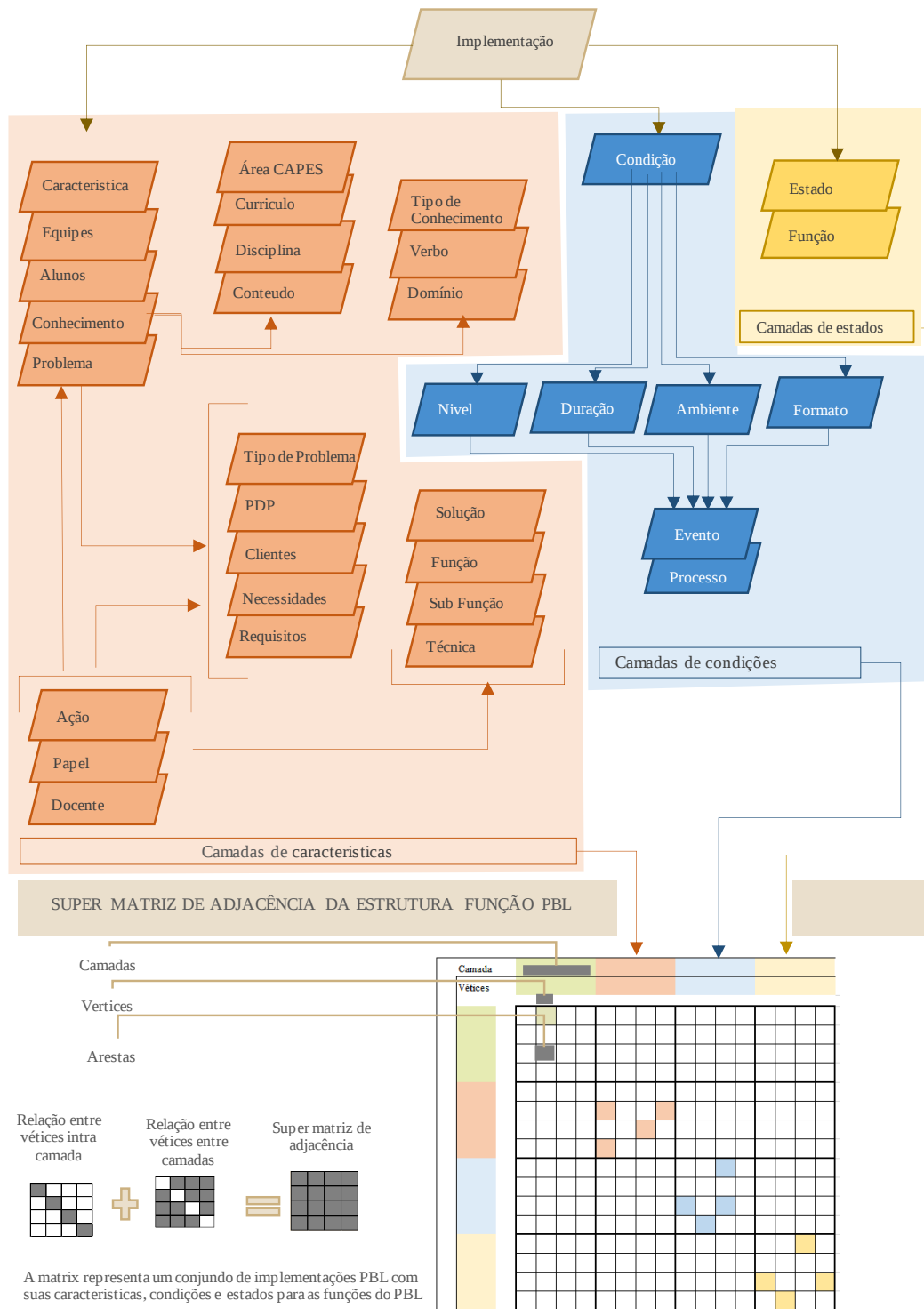
1 Modelo diagnóstico

O modelo diagnóstico utiliza conceitos de redes complexas multicamadas para quantificar as diferenças entre implementações, características, condições e estados do PBL. A centralidade e similaridade das redes permitem medir algumas variáveis do fenômeno PBL. Deste modo, o modelo diagnóstico é uma representação matemática das variáveis do PBL em um conjunto de camadas relacionadas as características, condições e estados, conforme ilustra a Figura 1. O detalhamento destas camadas será apresentado nas seções a seguir.

Figura 1 - Camadas da rede do modelo diagnóstico

CAMADAS DA REDE ESTRUTURA - FUNÇÃO PBL

A rede da estrutura e função do PBL apresenta várias camadas. Os vértices desta rede se propagam na direção horizontal dentro das camadas e na direção vertical/obliquia entre as camadas.

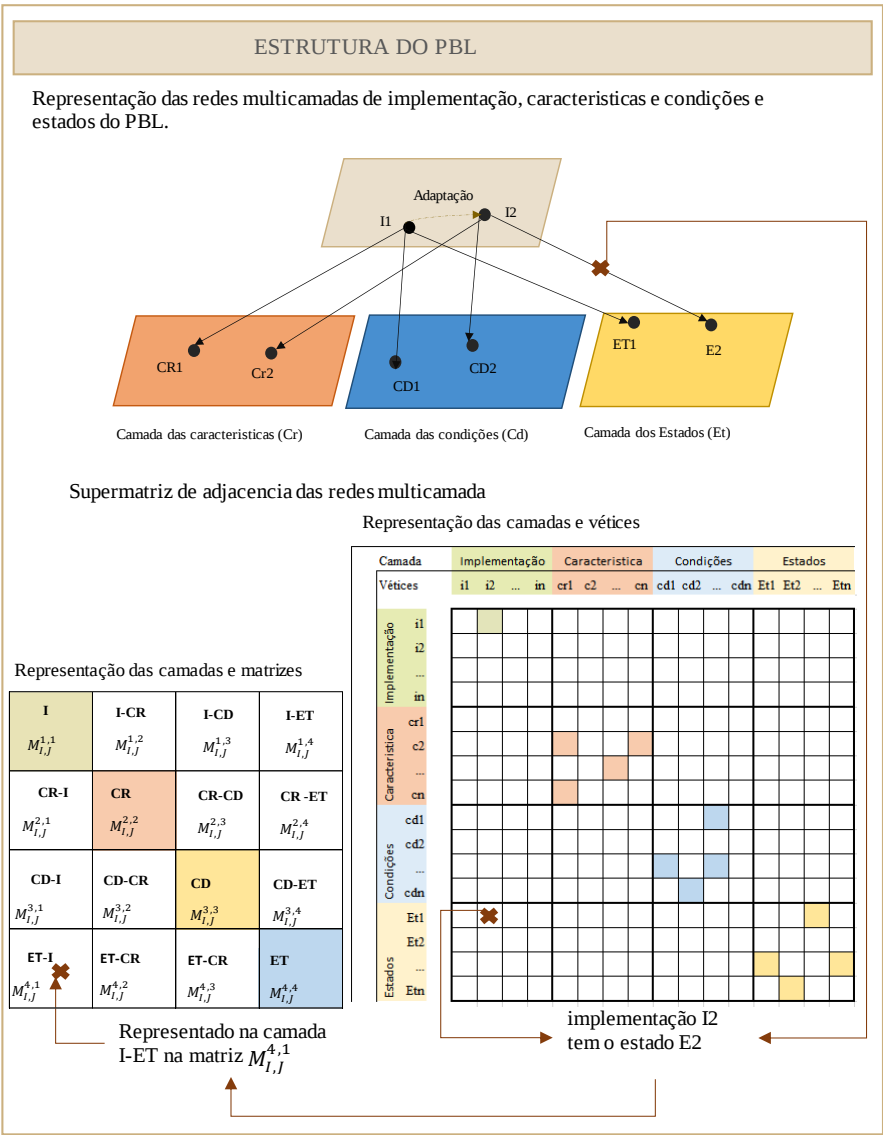


Fonte: Autoria própria

1.1 Características, condições e estados de uma implementação do PBL

As características, as condições e os estados de uma implementação PBL podem ser representados por quatro camadas em uma rede, conforme a Figura 2. Formalmente, esta rede pode ser representada por uma super matriz de adjacência que correlaciona cada implementação as suas características e condições.

Figura 2 - Rede das características, condições e estados

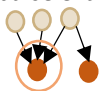
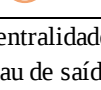


Fonte: Autoria própria

Na camada de implementação, implementações são conectadas por precedência. Por exemplo: no ano de 2022, realizou-se uma implementação PBL em uma disciplina,

esta implementação corresponde a implementação 1 (I1), apresenta características 1 (CR1) e condições 1 (CD1). No ano seguinte, baseado no estado da I1, para melhorar os resultados desta implementação, adaptações foram realizadas produzindo uma implementação 2 (I2), com características 2 (CR2), condições 2 (CD2) e estado 2 (E2). E assim segue este ciclo com variadas implementações. As métricas desta rede permitem diagnosticar uma série de aspectos: quantidade de variações de implementação, características, condições e estados observados; centralidade nas características, implementações e condições, conforme detalha Quadro 1.

Quadro 1 - Métricas das redes, das características, das condições e dos estados de uma implementação

Camada	Vértice	Aresta	Métricas	Diagnósticos
I 	Implementações I 	precedência 	Numero de nós da rede	Quantidade de variações de implementações do PBL realizadas
CR 	Característica CR 	precedência 	Numero de nós da rede	Quantidade de variações nas características de implementação implementações do PBL realizadas
CD 	Condições CD 	precedência 	Numero de nós da rede	Quantidade de variações nas condições das implementações do PBL
EQ 	Estados ET 	precedência 	Numero de nós da rede	Quantidade de estados observados nas implementações do PBL
I-CR 	Implementação e característica I 	tem característica 	Centralidade de grau de entrada 	Características mais selecionadas nas implementações
	CR 		Centralidade de grau de saída 	Implementações com mais variações nas características
I-CD 	Implementação e condições I 	tem condições 	Centralidade de grau de entrada 	Condições mais selecionadas nas implementações
	CD 		Centralidade de grau de saída 	Implementações com mais variações nas condições
I-EQ 	Implementação e Estados I 	tem condições 	Centralidade de grau de entrada 	Estados que concentram mais implementações
	ET 		Centralidade de grau de saída 	Implementações com mais variações nos estados

Fonte: Autoria própria

1.2 Características

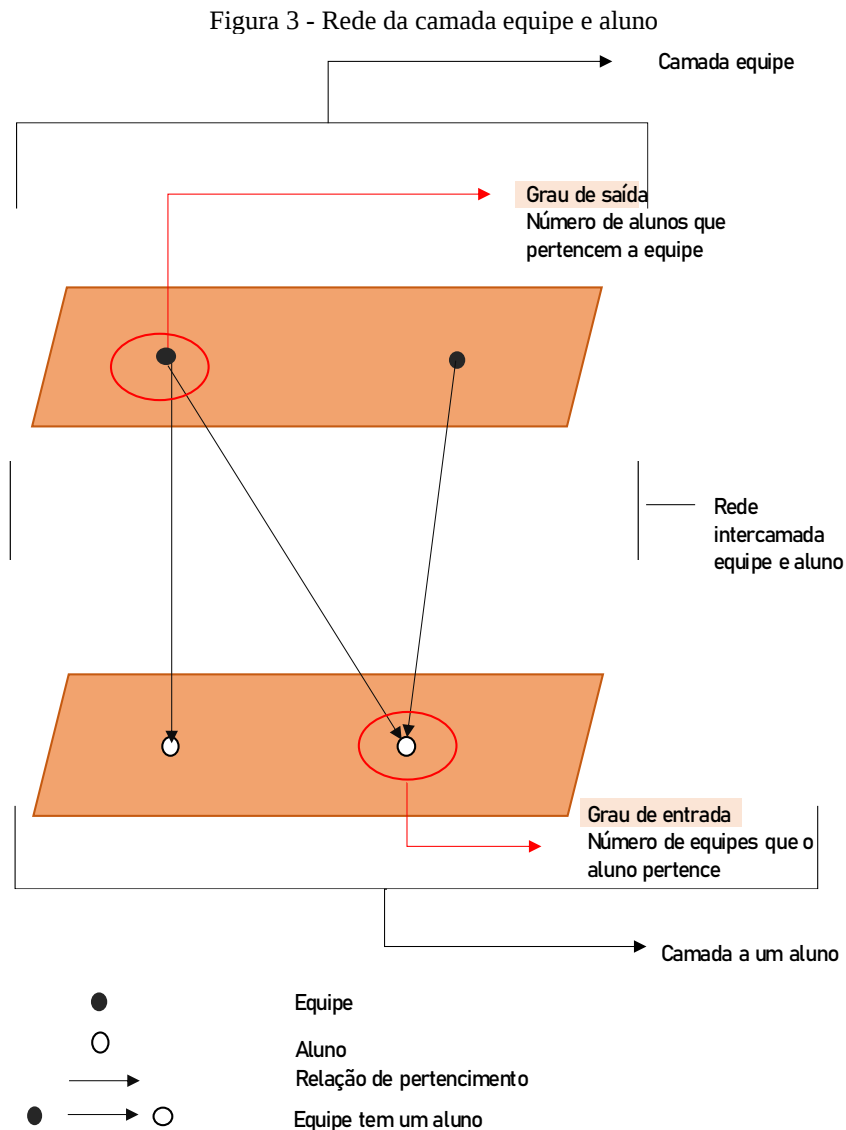
Conforme introduzido na Figura 4, as camadas relativas as características seguem uma ordem sucessiva de equipes, alunos, conhecimento, problema, ações e papel do docente. O detalhamento destas camadas é realizado nas seções a seguir.

1.2.1 Camada de equipes

Na camada inferior as características, há uma rede de equipes cujo vértices são equipes e arestas são as contribuições. As métricas relativas aos números de nós, laços, união entre nós diferentes, grau do nó e centralidade de grau permitem identificar: i) o número e tipo de avaliações realizadas e recebidas pela equipe (avaliação entre pares e avaliação intrapares); ii) as equipes que mais contribuem e que mais realizam contribuições e; iii) o tipo de contribuição realizada, conforme o Quadro 2.

1.2.2 Camada equipe e aluno

A equipe e aluno conectados por relações de pertencimento representam uma rede da intercamada, conforme ilustra a Figura 3. Esta rede permite observar o tamanho das equipes por meio do grau de saída do nó. A quantidade de equipes que um aluno pertence também pode ser observada pelo grau de entrada do nó.

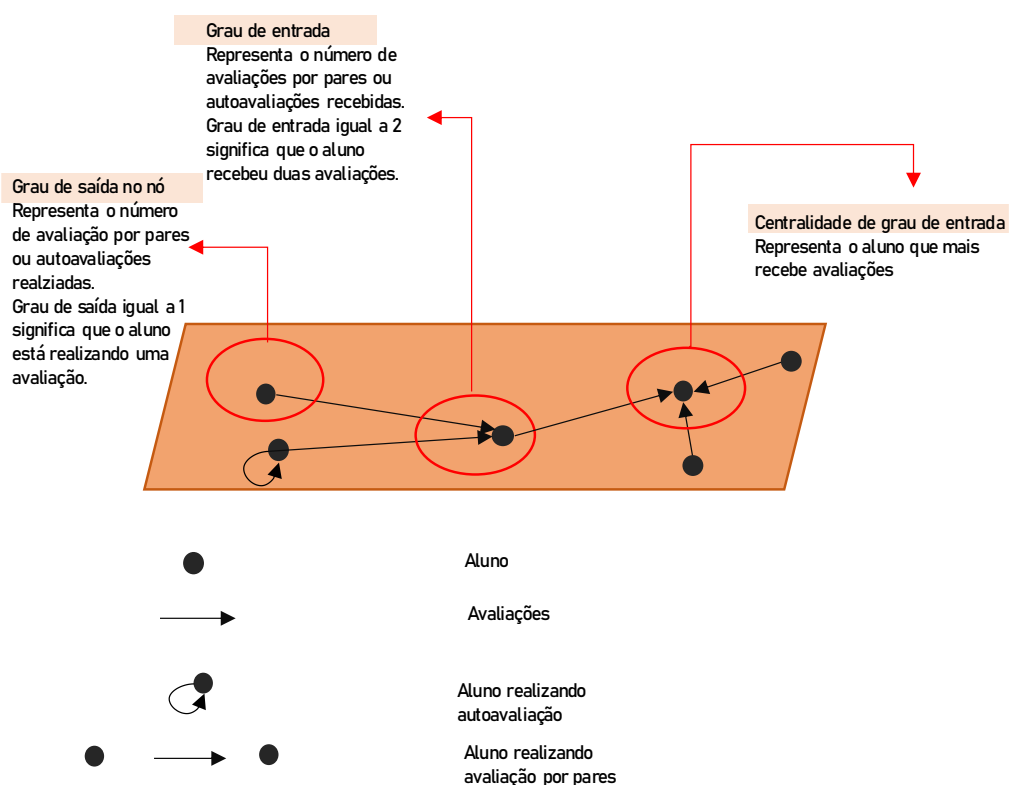


Fonte: Autoria própria

1.2.3 Camada aluno

A rede da intracamada de aluno conectado por relações de colaboração permite observar alunos que avaliam os produtos que eles desenvolveram e que foram desenvolvidos por outros alunos, ou seja, a quantidade de avaliações por pares e autoavaliações, conforme ilustra Figura 4.

Figura 4 - Rede da camada aluno



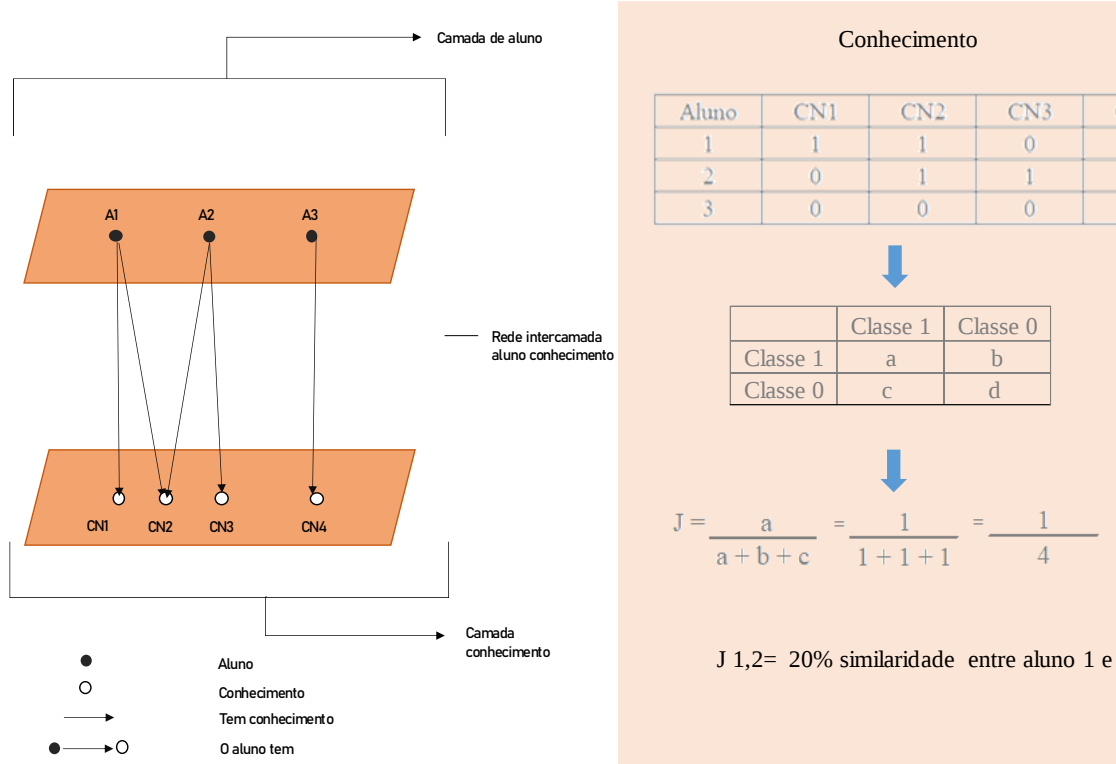
Fonte: Autoria própria

1.2.4 Camada aluno e conhecimento

Na rede da camada do aluno e conhecimento, o coeficiente de Jaccard permite calcular a similaridade entre dois alunos por meio dos conhecimentos que eles possuem.

Quanto mais próximo a 1 for este coeficiente maior à similaridade entre dois alunos, conforme a Figura 5. Em uma matriz de similaridade, é possível representar as similaridades existentes em um conjunto de alunos.

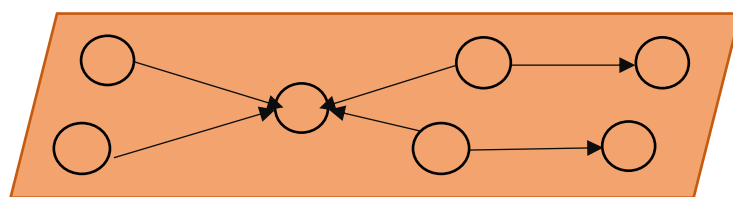
Figura 5 - Rede da camada aluno e conhecimento



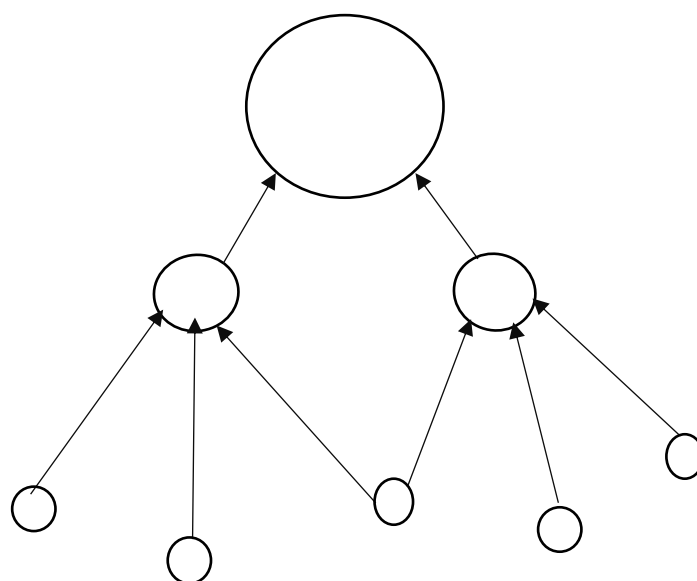
1.2.5 Camada conhecimento

Nesta camada, a rede é composta por conhecimentos conectados por precedência. A centralidade *PageRank* permite identificar o conhecimento prévio que tem maior influência de precedência entre os demais, conforme a Figura 6.

Figura 6 - Rede da camada de conhecimento



Centralidade PageRank: Representa o conhecimento prévio relacionados aos conhecimentos a serem adquiridos. Conhecimento pode estar relacionado a conteúdo, disciplina, currículo e a área capes



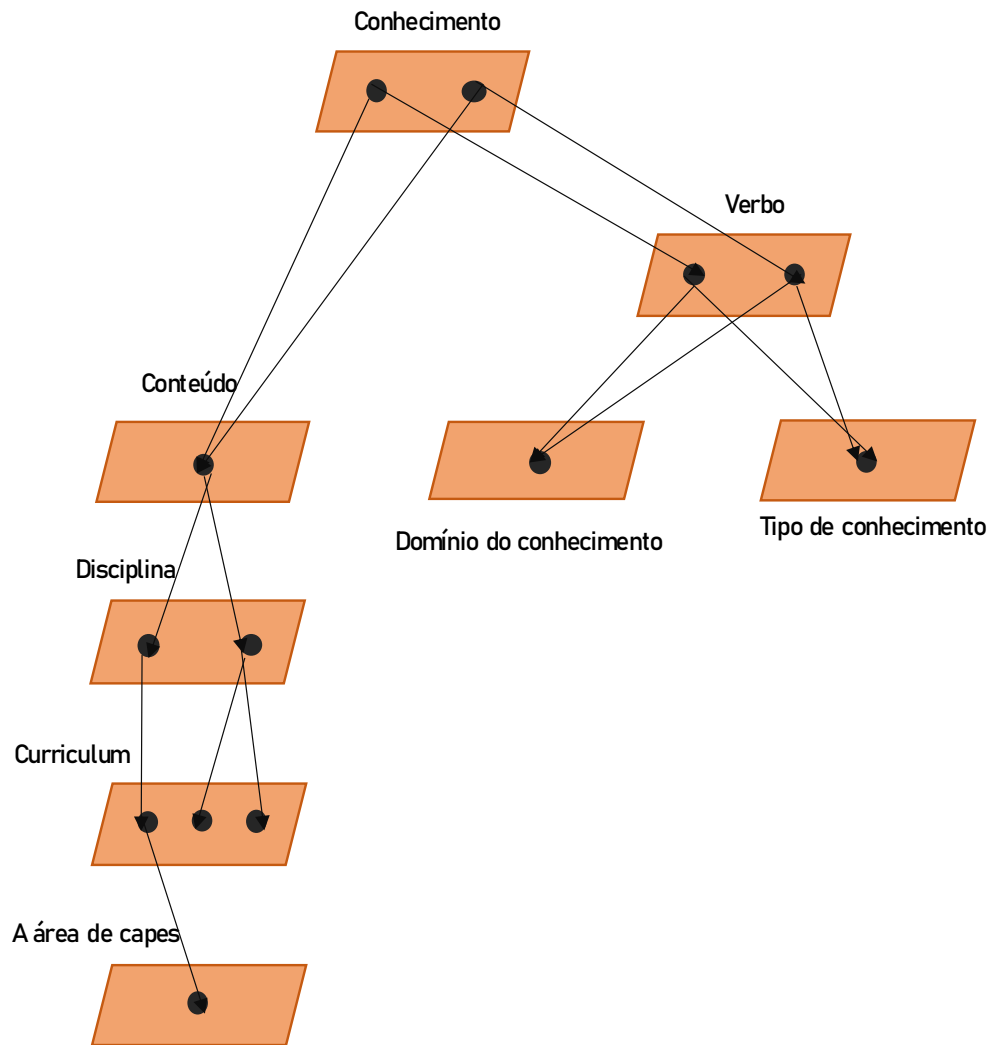
Fonte: Autoria própria

O conhecimento é um nó com duas propriedades¹²: conteúdo e verbo. O verbo define outras duas propriedades do conhecimento: tipo de conhecimento e nível cognitivo. Portanto, o conhecimento também pode ser representado por camadas de conteúdo, verbo, nível cognitivo e tipo de conhecimento. O conteúdo pode estar relacionado a aula, a disciplina e o currículo. Portanto, uma rede multicamada pode ser estabelecida conforme ilustra a Figura 7. Esta figura apresenta diferentes graus de granularidades do conhecimento dentro do PBL.

¹ Propriedades relacionadas a taxonomia de Blom.

² CONKLIN, Jack. A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives complete edition. 2005.

Figura 7 - Granularidade do conhecimento dentro do PBL

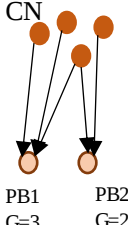
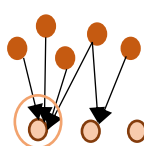


Fonte: Autoria própria

1.2.6 Camada de conhecimento e problema

Os problemas e os conhecimentos que um determinado aluno apresenta constitui uma rede intercamada ilustrada na Figura 8. As arestas desta rede representam a relação semântica requerer. Portanto, quando um conhecimento é requerido por um problema para ele ser resolvido, há uma conexão. Nesta rede, o grau de entrada representa a familiaridade de um aluno com um determinado problema e a centralidade do grau de entrada representa o problema que o aluno apresenta maior familiaridade

Figura 8 - Rede da camada de conhecimento e problema

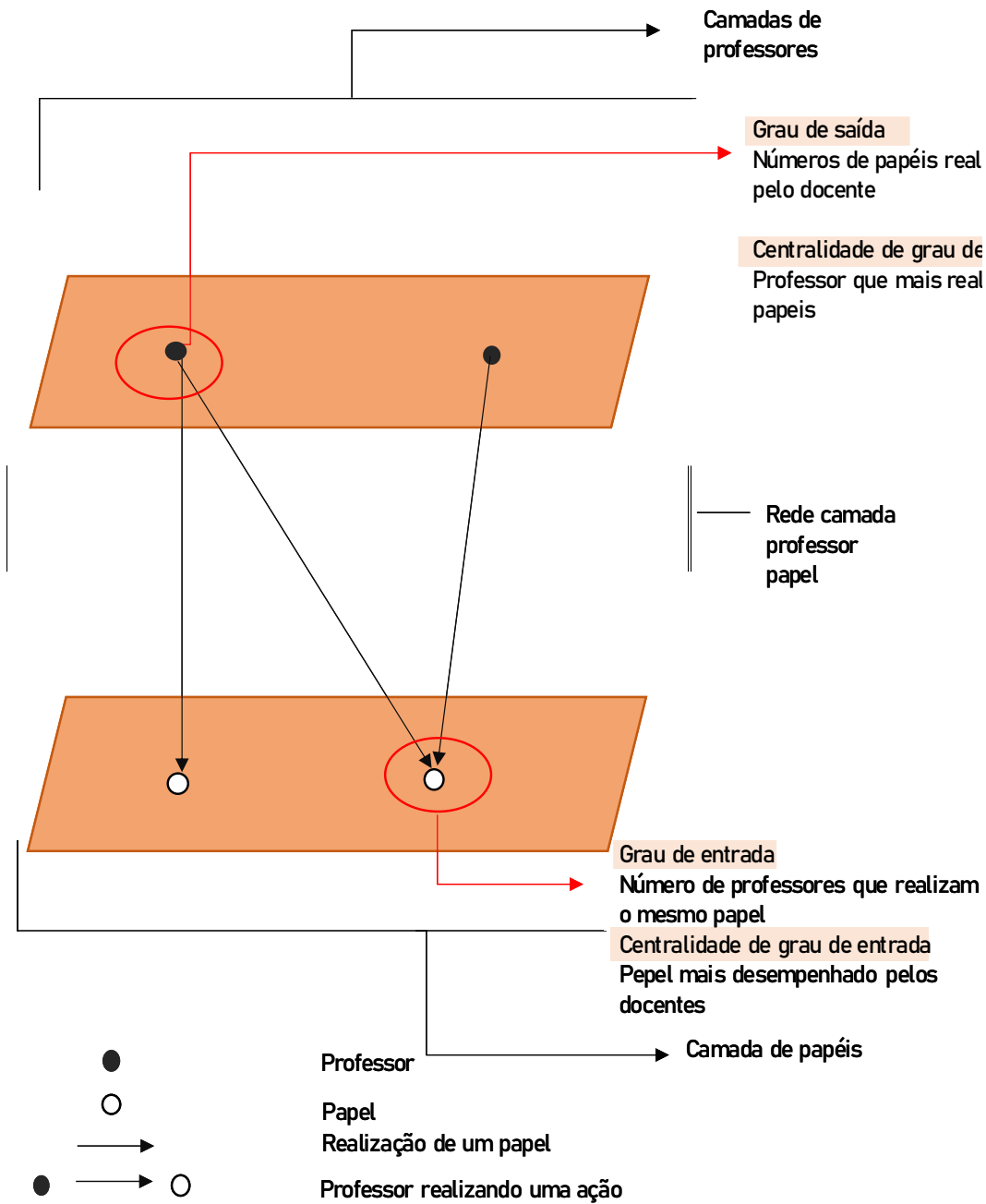
Camada	Vértice	Aresta	Métricas	Diagnósticos
CN-PB	Conhecimento e problema	requerido	Grafo direcionado	
	CN PB		 PB1 G=3 PB2 G=2 Centralidade de grau de entrada 	Representa a familiaridade do aluno com um determinado problema. Se o grau do nó do Problema PB1 for maior que o PB2, significa que o aluno tem maior familiaridade com o problema PB1 do que PB2 Problema que o aluno tem maior familiaridade.

Fonte: Autoria própria

1.2.7 Camada ação, papel docente

O papel e o docente representam os nós de uma rede intercamadas apresentada na Figura 9. As arestas desta rede são representadas pela relação semântica de realização. Por meio destas redes, é possível identificar: papéis mais desempenhados, número de papéis desempenhados por um docente, os docentes que mais desempenham papéis específicos e papéis que concentram maior número de docentes.

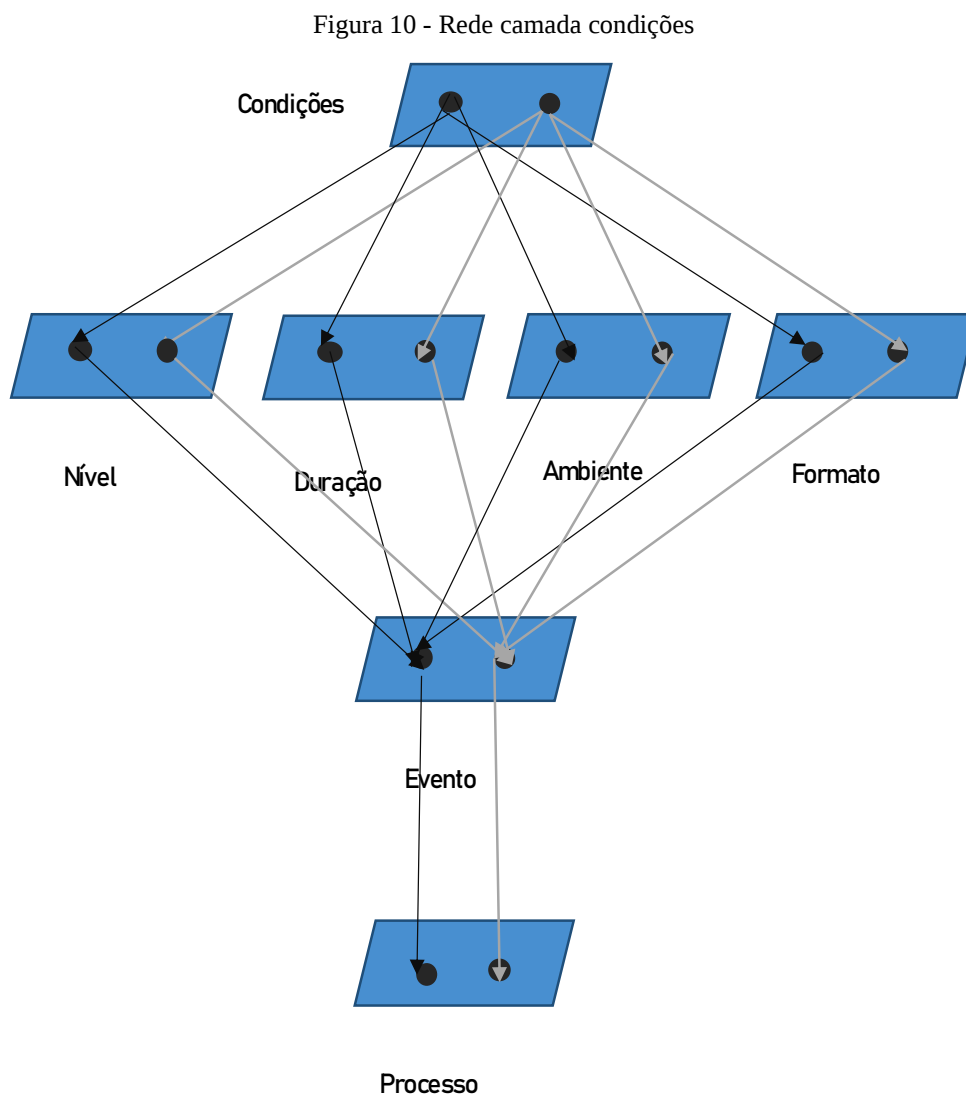
Figura 9 - Rede da camada ação, papel e docente



Fonte: Autoria própria

1.3 Condições

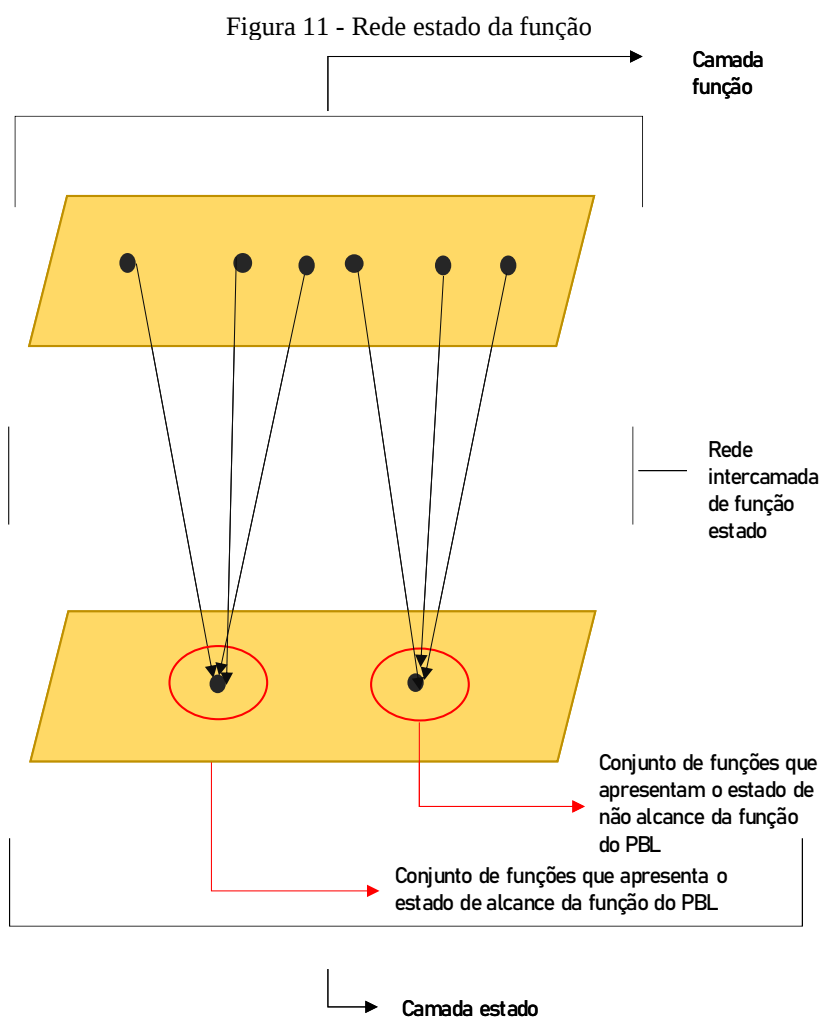
Uma rede multicamada que envolve condições relacionadas a níveis, duração, ambiente e formato em um evento de um processo PBL é ilustrada na Figura 10. Por meio desta rede é possível identificar: os eventos relacionados a um processo; os níveis, a duração e o ambiente em que o evento ocorreu. Portanto, as condições da implementação PBL pode ser analisada, conforme a Figura 10. Nestas camadas, é possível verificar a similaridade nas condições por meio do coeficiente de Jaccard.



Fonte: Autoria própria

1.4 Estado da função

A rede multicamada dos estados e funções do PBL pode ser representada pela Figura 11. Nesta camada, as funções aprendizagem colaborativa, construtiva, contextualizada, autodirigida, aquisição de conhecimento e resolução de problemas podem estar relacionados um estado. Por meio da centralidade do grau de saída é possível identificar o estado é mais recorrente a uma implementação.



Fonte: Autoria própria

1.4.1 Aprendizagem colaborativa

O alcance da função aprendizagem colaborativa pode ser observada por meio do grau da rede intracamada de equipe. Quando o grau do nós de entrada e saída são iguais a zero, significa que a equipe não realizou e nem recebeu avaliação. Quando não há colaboração para uma determinada equipe, o estado da implementação para esta equipe é de não alcance da função aprendizagem colaborativa. Portanto, para que haja aprendizagem colaborativa na implementação PBL, o grau de saída da rede do nó da equipe deve ser superior a um, conforme Quadro 3.

Quadro 3 - Estado da função da aprendizagem colaborativa

Centralidade de grau de entrada da rede de equipe		Centralidade de grau de saída da rede		Estado
valor	significado	valor	significado	-
0	Nenhuma equipe recebeu avaliações ou contribuições	0	Nenhuma equipe realizou avaliações ou contribuições	Não alcance da função do PBL
>1	Pelo menos uma equipe recebeu avaliações ou contribuições	>1	Pelo menos uma equipe realizou avaliações ou contribuições	Alcance da função do PBL

Fonte: Autoria própria

1.4.2 Aprendizagem contextualizada

Para analisar a aprendizagem contextualizada, as características e condições devem ser especificadas para o PBL projetado para aprendizagem e o PBL do futuro profissional. Por meio da comparação da similaridade entre estas duas implementações, pode-se definir o estado do PBL para a aprendizagem contextualizada. Uma matriz de similaridade permite observar os aspectos de semelhança entre as características e condições do PBL profissional e educacional. Os coeficientes de similaridade de Jaccard permitem observar

as distâncias. Quanto mais próximo a 1 mais similar o PBL-Aprendizagem estará do PBL-Futuro profissional. Quando este coeficiente for 0, significa que as características e condições nestes dois cenários não apresentam nenhuma similaridade e, portanto, não houve alcance da função aprendizagem contextualizada, conforme Quadro 4.

Quadro 4 - Estado da função da aprendizagem contextualizada

Coeficiente Jaccard	Similaridade	Significado	Estado
J=0	Nenhuma similaridade	A implementação projetada para aprendizagem não apresenta nenhuma similaridade com a futura realidade profissional	Não alcance da função do PBL
$0 < J < 1$	Há similaridade e diferenças	A implementação projetada para aprendizagem apresenta similaridades e diferenças com a futura realidade profissional	Alcance parcial da função do PBL
J=1	Totalmente similar	A implementação projetada para aprendizagem apresenta total similaridade com a futura realidade profissional	Alcance da função do PBL

Fonte: Autoria própria

1.4.3 Aprendizagem construtiva

Essa função pode ser observada por meio dos parâmetros da rede de conhecimento ao longo do tempo. A variação no número de nós desta rede ao longo do tempo permite observar se houve conhecimento adquirido. A variação na centralidade de grau de saída em um determinado período de tempo permite observar se houve ativação de conhecimento prévio. Estas métricas determinam o alcance do estado desta função, conforme Quadro 5.

Quadro 5 - Estado da função da aprendizagem construtiva

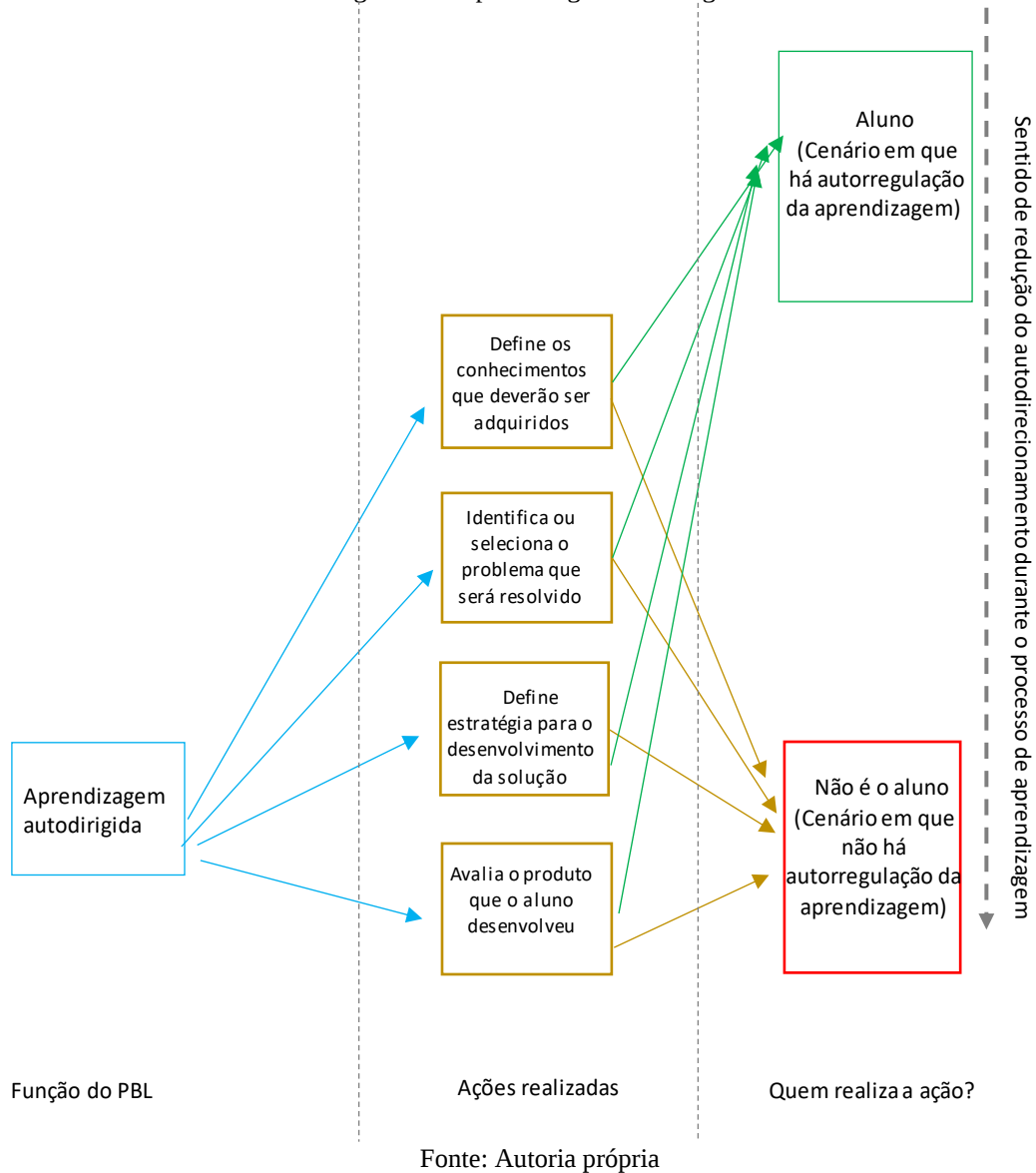
Variação no número de nós em um determinado período de tempo ((Número de nós no tempo t+1) - (Número de nós no tempo t))	Significado	Variação da centralidade de grau de saída em um determinado intervalo de tempo	Significado	Estado
0	Não houve conhecimentos novos adquiridos	0	Não houve ativação de conhecimentos prévios	Não alcance da função do PBL
>0	Houve conhecimentos novos adquiridos	>0	Houve ativação de conhecimentos prévios	Alcance da função do PBL

Fonte: Autoria própria

1.4.4 Aprendizagem autodirigida

A análise da aprendizagem autodirigida está relacionada a quem especifica os conhecimentos que deverão ser adquiridos, o problema que será resolvido, a estratégia para desenvolvimento de solução e análise da solução que foi desenvolvida. Para que haja alcance desta função, o aluno deve inserir os nós das redes de conhecimento, problema, solução e as arestas da rede de alunos e equipes, conforme a Figura 12. A participação do aluno na construção destas redes permite que esta aprendizagem seja alcançada e percebida pelo aluno.

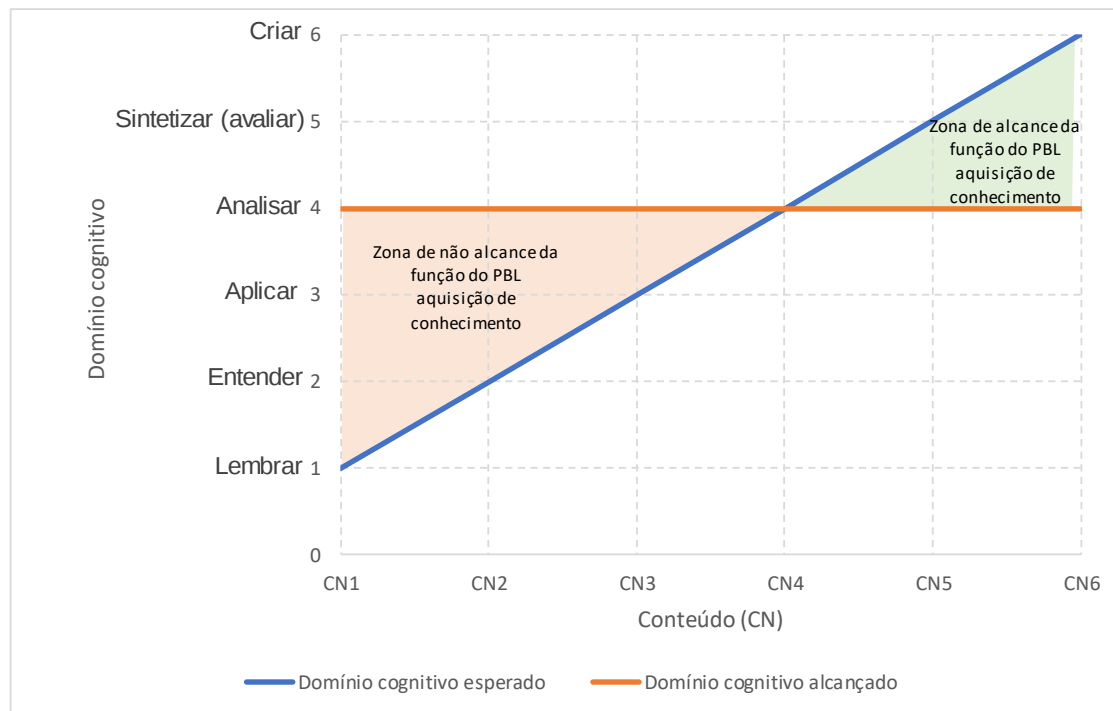
Figura 12 - Aprendizagem autodirigida



1.4.5 Aquisição de conhecimento

Os dados das redes de conhecimento conforme conteúdo, tipo e domínio cognitivo permite construir o gráfico para análise do alcance da aquisição dos conhecimentos esperados, conforme Figura 13.

Figura 13 - Função aquisição de conhecimento



Fonte: Autoria própria

1.4.6 Resolução de problemas

A rede de problemas e soluções permite observar os problemas especificados e solucionados. A variação no número de nós em um determinado período de tempo nas redes de problemas e soluções permite observar se esta função foi alcançada, conforme o Quadro 6.

Quadro 6 - Estado da função resolução de problemas

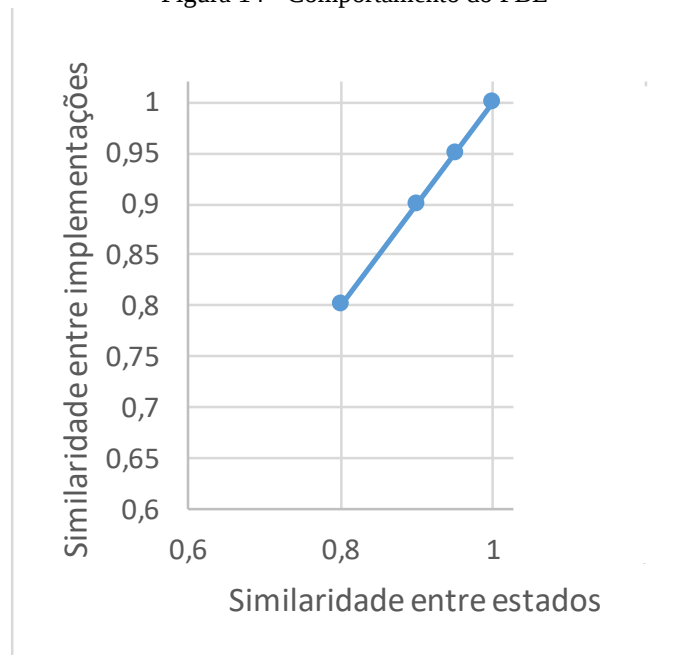
Variação no número de nós da rede de problema em um determinado período de tempo ((Número de nós no tempo t+1) - (Número de nós no tempo t))	Significado	Variação no número de nós da rede de solução em um determinado período de tempo ((Número de nós no tempo t+1) - (Número de nós no tempo t))	Significado	Estado
0	Não houve identificação de problemas novos pelo aluno	0	Não houve o desenvolvimento de soluções pelo aluno	Não alcance da função do PBL
>0	Houve identificação de problemas novos pelo aluno	>0	Houve o desenvolvimento de soluções pelo aluno	Alcance da função do PBL

Fonte: Autoria própria

1.5 Comportamento

As implementações podem ser representadas pelas suas características, condições e estados. O Coeficiente de Jaccard permite identificar as similaridades e diferenças das implementações e determinar as suas distâncias, conforme a Figura 14. Por meio destas similaridades e diferenças um gráfico da evolução de uma implementação pode ser construído. A partir deste gráfico, é possível observar se uma adaptação na implementação representou uma aproximação do estado de alcance da função do PBL ou um distanciamento.

Figura 14 - Comportamento do PBL



Fonte: Autoria própria. Nota: aumento na similaridade entre implementações resultam aumento da similaridade do estado de alcance das funções do PBL.

2 Aplicações do modelo

A seguir são apresentados dois exemplos prático de uso deste modelo para análise de centralidade e similaridade em algumas camadas da rede variáveis do PBL apresentada.

2.1 Análise de centralidades

Na turma de 2022 e 2023, conforme Tabela 1, o grau de entrada permite observar o número de avaliações recebidas pelas equipes. A camada aluno e equipe permitiu observar as avaliações realizadas na QFD de duas implementações. A centralidade de grau de entrada demonstra as equipes que mais receberam contribuições foram o grupo 3 (G3-T2022) e o grupo 2 (G2-T2023) da implementação de 2022 e 2023, respectivamente.

Tabela 1 - Camada aluno equipe que avaliaram a QFD

Métrica - QFD 2022		
Equipe Aluno	Grau de entrada	Grau de saída
AL_A11_T2022	0	27
G1-T2022	81	0
AL_A12_T2022	0	26
AL_A13_T2022	0	27
AL_A14_T2022	0	27
G2-T2022	80	0
G3-T2022*	89	0
AL_A22_T2022	0	27
AL_A23_T2022	0	26
AL_A24_T2022	0	27
AL_A21_T2022	0	9
AL_A32_T2022	0	27
AL_A33_T2022	0	27
Métrica - QFD 2023		
Equipe Aluno	Grau de entrada	Grau de saída
AL_B11_T2023	0	14
G2-T2023*	56	0
AL_B12T2023	0	14
AL_B13_T2023	0	14
AL_B14_T2023	0	14
G3-T2023	49	0
AL_B21_T2023	0	14
G1-T2023	49	0
AL_B22_T2023	0	14
AL_B23_T2023	0	14
AL_B31_T2023	0	14
AL_B32_T2023	0	14
AL_B33_T2023	0	14
AL_B34_T2023	0	14

Fonte: Autoria própria. Nota:*centralidade de grau de entrada.

2.2 Análise de similaridade

A camada aluno e conhecimento (área CAPES da formação dos alunos) permite construir a matriz de similaridade baseada no Coeficiente de Jaccard, conforme a Figura 15. Pode-se observar que houve diversidade quando este índice assumiu valor inferior a 1.O aluno AL_A23_T2022 não apresenta similaridade quanto a sua área CAPES de graduação em relação aos demais membros do grupo.

Figura 15 - Matriz de similaridade

	AL_A21_T2022	AL_A22_T2022	AL_A23_T2022	AL_A24_T2022
AL_A21_T2022	1			
AL_A22_T2022	1	1		
AL_A23_T2022	0	0	1	
AL_A24_T2022	1	1	0	1

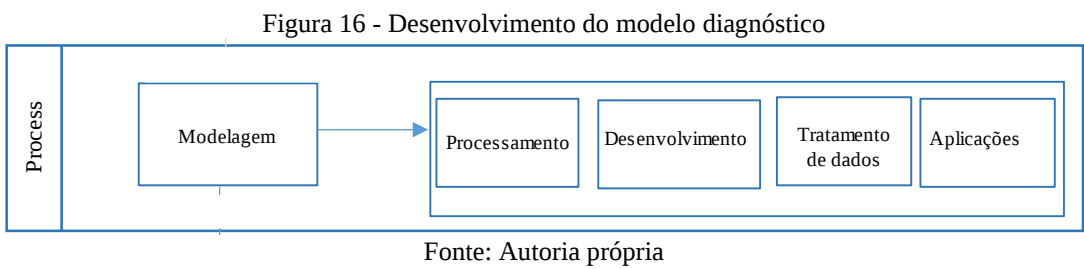
Matriz de similaridade baseada no Coeficiente de Jaccard calculado pela área CAPES da graduação de uma equipe do estudo qualitativo.

AL_23_T2022 não tem similaridade com AL_21_T2022, AL_22_T2022 e AL_24_T2022

Fonte: Autoria própria

3 Manutenção e extensão do modelo

A extensão e manutenção do modelo pode ser realizada pela metodologia descrita no Quadro 3 e ilustrada na Figura 16. Esta metodologia foi também usada para construir o modelo.



Quadro 7 - Procedimentos para desenvolvimento do modelo diagnóstico

Etapa	Detalhamento
Desenvolvimento do modelo	As camadas das redes foram modeladas. Como resultado um total de 24 camadas foram especificadas.
	Em cada camada, o significado das métricas de similaridade e centralidade foram detalhados para responder as questões: Qual é a distância entre implementações do PBL conforme suas características, condições e estado de alcance das funções do PBL?
Coleta de dados	Os dados foram coletados no estudo qualitativo e estavam no formato de relatórios, áudios e formulários.
Tratamento de dados para aplicação do modelo	Os áudios foram manualmente transcritos. Os dados em texto foram codificados e representados como camadas, nós e arestas de forma tabular.
Aplicação do modelo	As métricas foram calculadas usando o <i>software Cytoscape</i>

Fonte: Autoria própria

4 Considerações Finais

A modelagem das variáveis do PBL como uma rede complexa multicamada possibilita: (i) calcular as similaridades entre implementações e estados; (ii) analisar a relação entre adaptações nas implementações (a aproximação e distanciamento do alcance das funções do PBL). Adicionalmente, o alcance das funções do PBL também é calculado por meio de métricas como o grau do nó, centralidade e similaridade nas redes de conhecimento, equipe, problemas e soluções.

Como principais impactos dos aspectos mencionados têm-se comparações quantitativas entre implementações PBL que possibilita os praticantes do PBL avaliar os resultados das implementações específicas e contribui para um design eficaz do PBL. Para pesquisadores, recomenda-se que o modelo seja utilizado para investigar o PBL em uma perspectiva sistêmica e por meio de dados para captar o caráter complexo e adaptativo do PBL. Estudos futuros poderão utilizar os dados do repositório do modelo descritivo (vide módulo 1) para investigar a maior distância entre implementações cadastradas.
