

Desenvolvimento Curricular Baseado em Dados Factuais: uma Revisão Sistemática da Literatura

Clayton Brás de Souza Lopes, UFVJM, clayton@ufvjm.edu.br, <https://orcid.org/0000-0002-2669-6160>

Luciana Assis, UFVJM, lpassis@ufvjm.edu.br, <https://orcid.org/0000-0002-7891-7172>

Alessandro Vivas, UFVJM, alessandrovivas@ufvjm.edu.br, <https://orcid.org/0000-0003-4713-5159>

Cristiano Pitangui, UFSJ, pitangui.cristiano@ufs.edu.br, <https://orcid.org/0000-0002-3961-2042>

Fabiano Azevedo Dorça, UFU, fabianodor@ufu.br, <https://orcid.org/0000-0003-3281-0246>

Resumo: Um dos desafios das instituições de ensino superior é garantir que o estudante não evada do curso e o conclua no tempo ideal. O desenvolvimento curricular que se baseia em dados factuais é uma maneira que busca garantir mais assertividade no (re)desenho curricular. Esta tarefa pode ser realizada através do Balanceamento de Currículo Acadêmico e/ou por meio do Curricular Analytics. Este artigo apresenta a primeira Revisão Sistemática da Literatura sobre o tema. Os resultados mostram uma ascensão dos estudos com abordagens e métodos diversos, porém ainda tímida e com baixo emprego ou disponibilização de ferramentas que apoiem os processos de tomadas de decisão.

Palavras-chave: Currículo, Planejamento Curricular, Balanceamento de Currículo Acadêmico, Curricular Analytics.

Curriculum Development Based on Factual Data: A Systematic Review of the Literature

Abstract: One of the challenges for higher education institutions is to ensure that the student does not drop out and complete the course at the ideal time. Curriculum development based on factual data is a way that seeks to ensure more assertiveness in curriculum (re)design. This task can be performed through Academic Curriculum Balancing and/or through Curriculum Analytics. This article presents the first Systematic Literature Review on the subject. The results show a rise of studies with different approaches and methods, but still timid and with low employment or availability of tools that support decision-making processes.

Keywords: Curriculum, Curriculum Planning, Academic Curriculum Balancing, Curriculum Analytics.

1. Introdução

O planejamento curricular destaca-se como o meio para a realização de intervenções que permitam ao estudante a obtenção das melhores experiências, permanecendo na instituição e concluindo o curso, preferencialmente, no tempo ideal. E para que o currículo seja, efetivamente, viabilizador do complexo processo ensino-aprendizagem, é primordial que o seu desenvolvimento, impactado por diversas variáveis e marcado tradicionalmente pela subjetividade (Mendez *et al.*, 2014), saia da tentativa e erro, para abordagens que absorvam dados factuais para subsidiar as tomadas de decisões pedagógicas.

Kember (2004) aponta a carga de trabalho do estudante como uma das importantes variáveis curriculares. Silva *et al.* (2019) frisam a sobrecarga como dificultador da absorção de conteúdo e da formação do conhecimento. Entretanto, como, geralmente, as instituições de ensino superior dividem seus conteúdos por semestres, ou períodos, é tradicional a dificuldade de equilibrar a carga de trabalho ao longo do curso devido a diversas restrições.

Neste contexto, Castro e Manzano (2001) apresentaram o primeiro trabalho sobre Balanceamento de Currículo Acadêmico (BCA), com a formulação do Problema de Balanceamento de Currículo Acadêmico, do inglês *Balancing Academic Curriculum Problem* (BACP), classificado como NP-Difícil (Chiarandini *et al.*, 2012). O problema consiste em atribuir disciplinas a períodos, distribuindo o quantitativo de créditos o mais uniformemente possível entre estes, respeitando os pré-requisitos, de forma que os estudantes possam fazer uso eficiente de seus esforços (Ünal e Uysal, 2014).

Ainda no contexto do planejamento curricular, emerge na literatura o *Curricular Analytics* (CA), campo que utiliza dados históricos de interações dos estudantes com o currículo e da complexidade do percurso curricular (Heileman *et al.*, 2018) para suportar o desenvolvimento de currículos que atendam às restrições necessárias e que permitam maiores chances do estudante atingir a graduação.

Dada a importância dos estudos do desenvolvimento curricular, surge a necessidade da realização de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) sobre o tema, para que seja traçada uma linha do tempo coesa dos estudos e que se conheça o estado da arte.

Este artigo foi estruturado da seguinte forma: a seção 2 descreve o método de RSL utilizado. Os resultados e discussão são apresentados na seção 3. A seção 4 apresenta a conclusão.

2. Métodos

A elaboração da RSL foi embasada nos métodos encontrados em (Kitchenham e Charters, 2007), que apresentam passos necessários para o desenvolvimento de uma Revisão Sistemática consistente. De acordo esse guia, o processo de RSL inclui diversas atividades, agrupadas em três fases principais: planejamento da RSL, condução da RSL e relatório da RSL (Dermeval *et al.*, 2016). Estas fases contêm os seguintes passos: (1) identificação da necessidade da RSL; (2) formulação de uma questão de pesquisa; (3) exaustiva pesquisa de estudos primários; (4) avaliação da qualidade dos estudos incluídos; (5) identificação dos dados necessários para responder a questão de pesquisa; (6) extração dos dados; (7) sumarização e sintetização dos resultados do estudo; (8) interpretação dos resultados; (9) escrita do relatório (Kitchenham e Charters, 2007).

2.1. Questões de pesquisa

Portanto, a proposta desta RSL é conhecer o estado da arte do desenvolvimento curricular contrário à subjetividade. Assim, queremos responder a seguinte **questão de pesquisa**: Como se encontra o estado da arte do desenvolvimento curricular baseado em dados factuais? Baseado nesta pergunta de pesquisa geral, procuramos responder as seguintes perguntas específicas: **Q1**: Quais categorias de desenvolvimento curricular existem atualmente na literatura? **Q2**: Quais são os métodos sugeridos para o desenvolvimento curricular? **Q3**: Quais trabalhos apresentaram ferramentas de subsídio ao desenvolvimento curricular?

2.2. Estratégias de busca

Os repositórios utilizados foram Semantic Scholar, Directory of Open Access Journal, ScienceDirect, Scopus, SpringerLink, ACM Digital Library, IEEE Xplore e Compendex. A escolha destes repositórios justifica-se pelas suas relevâncias de disponibilização de trabalhos em informática aplicada à educação. Foram pesquisados trabalhos nos idiomas Português, Inglês e Espanhol.

2.3. Expressão de busca

Em todos os repositórios digitais foi utilizada a seguinte *string* de busca geral: “balancing academic curriculum problem OR balancing academic curricula OR

curriculum load balancing OR balanced curriculum OR curriculum balancing OR curricula balancing OR curricular balancing OR balanced academic curriculum OR curricular analytics OR curricular optimization OR curriculum analytics OR curriculum optimization OR curricular efficiency”. Esta *string* foi aplicada nos títulos, resumos e palavras-chave de artigos publicados.

2.4. Critérios de Inclusão e Exclusão

Considerando os critérios de inclusão e exclusão, conforme consta na tabela 1, a *string* de busca foi executada nos repositórios digitais e os resultados dessa aplicação estão disponíveis na tabela 2.

Tabela 1. Critérios de Inclusão e Exclusão

Critérios de Inclusão	Critérios de Exclusão
CI1: Artigos publicados a partir de 2001. CI2: Artigos publicados em anais de eventos ou revistas.	CE1: Artigos não escritos em inglês, português ou espanhol. CE2: Artigos não incluídos nos campos de pesquisa do BCA ou CA. CE3: Artigos de Revisão Sistemática da Literatura.

Após a aplicação da *string* de busca, foram retornados 2623 estudos que passaram pelos critérios, ou filtragem, de inclusão e exclusão. A primeira filtragem, que limitou as datas de publicações entre os anos de 2001 e 2021, eliminou 591 trabalhos. Posteriormente, a segunda filtragem eliminou 1106 trabalhos não publicados em anais de eventos ou revistas.

Tabela 2. Resultados obtidos com as *string* de busca e filtros posteriores

Repositório	Registros da aplicação da <i>string</i> de busca	1ª filtragem	2ª filtragem	3ª filtragem	4ª filtragem	5ª filtragem
Semantic Scholar	1170	1070	149	145	22	22
Directory of Open Access Journal	12	12	12	12	5	5
ScienceDirect	232	197	183	183	1	1
Scopus	528	448	332	331	19	19
SpringerLink	567	196	141	141	2	2
ACM Digital Library	38	36	36	36	1	1
IEEE Xplore	11	11	11	11	3	3
Compendex	65	62	62	62	12	12
Total	2623	2032	926	921	65	65
Consolidado			23			

Dos artigos até então selecionados, 5 não haviam sido escritos em inglês, português ou espanhol e foram excluídos. Posteriormente, após análise das introduções e metodologias, foram eliminados 853 artigos por não abordarem especificamente os campos de desenvolvimento curricular. Foi utilizada a ferramenta *parsif.al* para consolidar os trabalhos, eliminando aqueles duplicados, permanecendo 23 artigos e, destes, nenhum enquadra-se como Revisão Sistemática da Literatura, sendo este trabalho o primeiro deste tipo sobre o tema, evidenciando sua relevância para acompanhar os avanços e entender as lacunas do desenvolvimento curricular.

3. Resultados e discussão

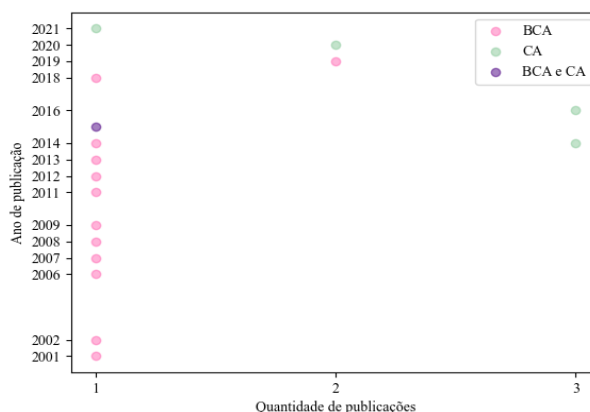
A seguir são extraídas informações dos trabalhos selecionados, apresentando uma breve descrição destes que, ao final da seção, são estratificados com dados complementares que possibilitam responder às questões de pesquisa.

3.1. Visão geral dos artigos publicados

A figura 1 apresenta a evolução das publicações do desenvolvimento curricular, entre 2001 e 2021. Verifica-se que o campo do *Curricular Analytics* (CA) teve seu primeiro estudo apresentado em 2014, 13 anos após a primeira publicação do BCA. Dentre as 23 publicações coletadas, o Chile se destaca com pesquisadores em 8 publicações. Além do Chile, na América Latina, o México e Equador aparecem em

3 publicações e na América do Norte, EUA e Canadá, em 4 publicações. Na Europa, pesquisadores da França, Bélgica, Dinamarca, Itália, Suécia, Inglaterra são autores em 10 artigos. Os demais pesquisadores são da Turquia, Nova Zelândia, Índia, Austrália e Bósnia e Herzegovina. Exceto o Chile, os demais países possuem representantes em 1 a 2 publicações apenas.

Figura 1. Distribuição dos artigos publicados



Desde sua primeira publicação, o campo do BCA apresentou publicações anuais constantes, mas em pequenos volumes, assim como ocorre com o CA. Embora a carga de trabalho seja uma importante variável curricular, bem como técnicas e ferramentas de CA sejam importantes para identificação de melhorias curriculares necessárias (Mendez *et al.*, 2014), apenas um trabalho realizou um estudo integrando as duas áreas, no ano de 2015, não ocorrendo mais evoluções neste sentido.

3.2. Análise dos trabalhos

Castro e Manzano (2001) apresentaram a primeira formulação do BACP. Primeiramente, os autores utilizaram a técnica de Programação Inteira para resolver o problema e aplicaram a três instâncias da CSPLib (Jefferson *et al.*, 1999), específicas para a resolução do BACP porém, não encontrando a melhor solução para a maior instância. Considerando que o tamanho do problema implicava em não obter os resultados esperados, os autores combinaram Programação Inteira com Programação por Restrições para a resolução do BACP. Utilizando esta última abordagem, eles implementaram o modelo utilizando linguagem de programação Oz (Müller; Müller e Roy, 1995), encontrando as soluções ótimas na resolução do balanceamento das três instâncias.

Um modelo que combina Programação Inteira com Programação por Restrições foi proposto por Hnich, Kiziltan e Walsh (2002) e comparado com aqueles desenvolvidos por Castro e Manzano (2001), utilizando as instâncias da CSPLib para realização dos testes, sendo constatado que os modelos que utilizaram de Programação por Restrições eram mais eficientes.

Ünal e Uysal (2014) desenvolveram o Balanceamento de Currículo Baseado em Relacionamento (RBCB - *Relevance Based Curriculum Balancing*) que, além de tentar uniformizar a carga de créditos entre os períodos, visa aproximar, na grade curricular, aquelas disciplinas que possuem alguma pontuação, do inglês *score*, de relacionamento. Os autores modelaram o BACP utilizando Programação Linear Inteira Mista e utilizaram dados curriculares de um curso de Engenharia Industrial da Universidade de Fatih.

O RBCB possibilitou encontrar soluções ótimas, diferenciadas por coeficiente de penalização de desbalanceamento encontrado por meio de Relaxação Langrageana.

Lambert *et al.* (2006) estenderam a proposta inicial, de Castro e Manzano (2001), utilizando Programação por Restrições e Algoritmo Genético. O Algoritmo Genético otimizou as soluções em um espaço de busca e tornou-se mais consistente localmente ao utilizar da Programação Por Restrição.

Um estratégia de Busca Local e Programação Inteira foi implementada por Monette *et al.* (2007). Além das três instâncias da CSPLib, eles utilizaram outras geradas pelos próprios autores, argumentando que aquelas da CSPLib deixavam o problema trivial. Outra estratégia de Busca Local combinada com Programação Inteira foi utilizada por Gaspero e Schaerf (2008) e, neste mesmo trabalho, adicionaram a restrição da preferência do professor quanto ao período a ministrar uma disciplina, obtendo grades balanceadas ao aplicar o modelo a dados da Universidade de Udine.

A partir do trabalho de Gaspero e Schaerf (2008), verificando que, em casos reais, nem sempre as preferências dos professores podem ser satisfeitas, Chiarandini *et al.* (2012) continuaram a utilizar a estratégia de Busca Local, relaxaram o modelo, permitindo violações do balanceamento, ao aplicar ponderações ao modelo e, embora diferentes da abordagem anterior, soluções de boa qualidade foram originadas dos mesmos dados utilizados por Gaspero e Schaerf (2008).

Castro, Crawford e Monfroy (2009) customizaram suas abordagens anteriores, desenvolvendo o Problema de Balanceamento de Currículo Acadêmico Múltiplo (MBACP - *Multiple Balancing Academic Curriculum Problem*), que combina Algoritmo Genético com Busca Local. Utilizando as instâncias da CSPLib, os autores propuseram o MBACP para realizar o balanceamento das grades dos cursos simultaneamente. A abordagem apresentou soluções de qualidades mais acentuadas e o algoritmo apresentou o mesmo desempenho comparados com as soluções e respectivo algoritmo de Programação Inteira, quando as três instâncias da CSPLib foram utilizadas.

Rosas-Tellez, Martínez-Flores e Zanella-Palacios (2011) utilizaram um Algoritmo Genético para a resolução do BACP, o aplicando às instâncias da CSPLib e outras empregadas no trabalho de Aguilar-Solís (2008), obtendo resultado ótimo em todos os casos. Uma novidade adicionada ao BACP pelas autoras foi a possibilidade de fixação de disciplinas em um período específico como restrição.

Rubio *et al.* (2013) propuseram a aplicação da abordagem chamada Sistema de Colônia de Formigas Melhor-Pior (BWAS - *Best-Worst Ant System*) para a resolução do BACP, validando a abordagem utilizando instâncias da CSPLib e dados reais do curso de Engenharia da Computação de três instituições, melhorando a grade curricular em dois casos e alcançando o mesmo resultado da grade atual no outro.

Para resolver o BACP, Rubio *et al.* (2018) propuseram a aplicação do Algoritmo dos Vaga-lumens e validaram a abordagem por meio das instâncias da CSPLib e de dados reais de três grades de duas universidades chilenas. Na utilização das instâncias da CSPLib, soluções satisfatórias foram encontradas, e a solução ótima foi obtida na maior parte das 50 execuções realizadas para cada uma, especialmente quanto menor eram as instâncias. Nos casos reais, foi possível melhorar as grades em todas as execuções.

Uma abordagem de Algoritmo Genético também foi utilizada por Chakradhar *et al.* (2019), quando definiram o tamanho da população como parâmetro e utilizaram a mesma função de aptidão utilizada por Rosas-Tellez, Martínez-Flores e Zanella-Palacios (2011). Os resultados obtidos através de testes utilizando as instâncias utilizadas por Rubio *et al.* (2018) comprovaram melhorias na resolução do BACP.

Villalobos-Cid *et al.* (2019) desenvolveram dois modelos de balanceamento,

adicionando a restrição de quantidade máxima de créditos a serem cursados por um estudante entre dois períodos consecutivos: um por meio de Algoritmo Genético, e outro por meio de Programação Inteira Quadrática. Os autores identificaram que, de seis grades de uma universidade chilena, duas delas mostraram-se estar muito bem balanceadas. O Algoritmo Genético mostrou que uma delas possuía inviabilidades, tanto quanto às regras do SCT-Chile, quanto às cargas acadêmicas.

No campo do *Curriculum Analytics*, Mendez *et al.* (2014) utilizaram dados de performance de estudantes de um curso de Ciência da Computação para analisar o desenho curricular do curso, modelando a influência, positiva ou negativa, de cada disciplina, para a média geral de suas notas. Foi verificado, por exemplo, que disciplinas mais afins à Engenharia da Computação estavam entre as de maior dificuldade e sem conexão de conteúdo com o restante da grade, aumentando a probabilidade de reprovação do estudante.

Através de um estudo de caso, Dawson e Hubball (2014) refletiram sobre a utilização do *Curriculum Analytics* no aprimoramento de currículos no ensino superior, apresentando um *software* baseado na metodologia de Análise de Redes Sociais que demonstra redes de currículos formadas por conexões entre disciplinas e os índices de graduação de cada estudante.

Slim *et al.* (2014) construíram, através da Teoria de Grafos e Análise de Redes Complexas, um *framework* para estudar a estrutura da grade curricular. Dois fatores que impactam a eficiência do percurso do estudante são definidos e, somados, compõem a medida de crucialidade de uma disciplina, sendo estes o fator de atraso e o fator de bloqueio, caracterizadas pelo caminho mais longo e a conectividade, respectivamente.

Ochoa (2016) propôs as métricas Posição Temporal da Disciplina e Distância Temporal entre as Disciplinas, visando identificar as melhores posições e sequenciamento de disciplina; a métrica Duração da Disciplina que verifica o impacto que uma disciplina tem na duração do curso; e as métricas de dificuldade Baseadas em Perfil que identifica a variação de estudante para estudante em uma disciplina.

Greer *et al.* (2016) experienciaram uma ferramenta chamada *Ribbon Tool*, na Universidade de Saskatchewan. Segundo os autores, ela fornece uma interface para visualização do progresso dos estudantes em uma grade curricular, até atingirem a graduação ou não. As informações de tempo para conclusão do curso, permanência e reprovação dão subsídios para a tomada de decisões curriculares.

Wong e Lavrencic (2016) implementaram um projeto piloto de um modelo de gestão de risco no redesenho curricular, em uma universidade australiana, tendo *feedback* positivo dos participantes. O modelo de gestão de risco, segundo os autores, quando identifica um risco, não necessariamente indica um ponto gerador de fraco desempenho no currículo, mas uma oportunidade para que as partes interessadas possam mitigar o risco.

Hilliger *et al.* (2020) utilizaram um modelo de três fases para entender como uma ferramenta de *Curriculum Analytics* poderia apoiar processos de melhoria contínua em currículos do ensino superior. Na primeira fase, os autores realizaram uma pesquisa qualitativa em três universidades, quando buscaram respostas sobre como os gestores usariam ferramentas de *Curriculum Analytics* e quais funcionalidades e informações esperariam destas ferramentas, que subsidiaram o desenvolvimento de uma ferramenta de *Curriculum Analytics* na segunda fase. A terceira fase consistiu em avaliar o uso da ferramenta por um período de três anos em um curso de Engenharia.

Dedic, Bijedic e Gaspar (2020) realizaram o estudo de uma ferramenta computacional que utiliza um Algoritmo Genético e dados institucionais da Faculdade de

Tecnologia da Informação de uma universidade da Bósnia e Herzegovina, e concluíram que o Algoritmo Genético utilizado pode ser treinado para prever o sucesso dos estudantes a partir de um histórico de notas, permitindo a construção de percursos curriculares personalizados.

Salazar-Fernandez *et al.* (2021) apresentaram uma abordagem de *Curriculum Analytics* que objetivou analisar percursos de estudantes do ensino superior que tiveram índices elevados de retenção culminando em evasão. Utilizando Mineração de Processos, os autores realizaram um estudo de caso, pesquisando quais padrões de trajetórias educacionais levaram à evasão e quais não tiveram este impacto.

Considerando a relevância do BCA e do CA, Slim *et al.* (2015) criaram um modelo chamado Balanceamento de Currículo Baseado na Crucialidade (CBCB - *Crucial Based Curriculum Balancing*) por meio de Programação Inteira que, ao mesmo tempo que balanceia a carga de créditos entre os períodos, move disciplinas cruciais para períodos mais recentes, validando-o por meio de dados massivos reais de um curso superior da Universidade do Novo México. Por objetivar balancear a carga de créditos e utilizar informações de crucialidade de disciplinas, torna-se a única abordagem que combina os dois campos do desenvolvimento curricular.

3.3. Estratificação dos Artigos

Aqueles trabalhos que, especificamente, buscam a otimização da carga de trabalho do estudante, foram estratificados e encontram-se sintetizados na tabela 3. A partir das descrições apresentadas na subseção 3.2, podemos verificar duas perspectivas do *Curricular Analytics*, sintetizadas nas tabelas 4 e 5: uma associada a dados históricos e outra que objetiva, especificamente, melhorar a eficiência do percurso do estudante, respectivamente.

Tabela 3. Síntese dos trabalhos de Balanceamento de Currículo Acadêmico (BCA)

Autor	Abordagem	Método	Dados	Ferramenta
Castro e Manzano (2001)	BACP	Programação Inteira	CSPLib	NAO
Hnich, Kizilhan e Walsh (2002)	BACP	Programação Inteira	CSPLib	NAO
Lambert <i>et al.</i> (2006)	BACP	Programação Inteira e Algoritmo Genético	CSPLib	NAO
Monette <i>et al.</i> (2007)	BACP	Programação Inteira	CSPLib	NAO
Gaspero e Schaefer (2008)	BACP e disciplinas em períodos preferenciais dos professores	Busca Local	CSPLib	NAO
Castro, Crawford e Monfroy (2009)	BACP	Algoritmo Genético e Busca Local	CSPLib	NAO
Rosas-Tellez, Martinez-Flores e Zanella-Palacios (2011)	BACP e disciplinas em período especificado	Algoritmo Genético	CSPLib	NAO
Chiarandini <i>et al.</i> (2012)	BACP e disciplinas em períodos preferenciais dos professores	Programação Inteira e Busca Local	CSPLib e cursos da Universidade de Udine	NAO
Rubio <i>et al.</i> (2013)	BACP	Colônia de Formigas	CSPLib e cursos de Eng. da Computação	NAO
Unal e Uysal (2014)	BACP e aproximação de disciplinas inter-relacionadas	Programação Inteira Quadrática Mista e Relaxação Lagrangeana	Curso de Eng. Industrial da Universidade de Faith	NAO
Slim <i>et al.</i> (2015)	BACP e disciplinas cruciais em períodos mais recentes	Programação Inteira	Cursos da Universidade do Novo México	NAO
Rubio <i>et al.</i> (2018)	BACP	Algoritmos dos Vagalumes	CSPLib e cursos de Eng. da Computação	NAO
Chakradhar <i>et al.</i> (2019)	BACP	Algoritmo Genético	CSPLib e cursos de Eng. da Computação	NAO
Villalobos-Cid <i>et al.</i> (2019)	BACP	Programação Inteira Quadrática e Algoritmo Genético	Cursos de Engenharia	NAO

Tabela 4. Síntese de trabalhos sob a perspectiva orientada a dados

Autor	Abordagem	Método	Dados	Ferramenta
Mendez <i>et al.</i> (2014)	Análises da dificuldade do curso, coerência curricular e carga de trabalho	Métricas	Curso de Ciência da Computação	SIM
Dawson e Hubball (2014)	Análise de conexões entre disciplinas e índices de graduação	Análise de Redes Sociais	Curso de Artes da Universidade da Colômbia Britânica	SIM
Ochoa (2016)	Verificação do melhor posicionamento de disciplinas	Métricas	Curso de Ciência da Computação	NAO
Greer <i>et al.</i> (2016)	Análise do progresso do estudante na grade	Diagrama de Sankey	Cursos diversos de Eng. da Universidade da Califórnia	SIM
Wong e Lavrencic (2016)	Mitigação de riscos	Gestão de risco	Cursos diversos de uma universidade australiana	NAO
Hilliger <i>et al.</i> (2020)	Estudo de ferramenta de apoio para melhoria contínua de currículos	Desenho de Aprendizagem Integrativa	Cursos diversos de universidade da América Latina	SIM
Dedic, Bijedic e Gaspar (2020)	Predição de sucesso estudantil	Algoritmo Genético	Cursos de universidade da Bósnia e Herzegovina	SIM
Salazar-Fernandez <i>et al.</i> (2021)	Identificação de padrões que levam à evasão	Mineração de Processos	Cursos diversos de universidade Chilena	SIM

Tabela 5. Síntese de trabalhos sob a perspectiva da eficiência do percurso do estudante

Autor	Abordagem	Método	Dados	Ferramenta
Slim <i>et al.</i> (2014)	Identificação da crucialidade	Teoria de Grafos e Análise de Redes Complexas	Cursos da Universidade do Novo México	NAO
Slim <i>et al.</i> (2015)	Percurso ideal do estudante	Programação Inteira	Cursos da Universidade do Novo México	NAO

Portanto, respondendo à questão Q1 “**Quais categorias de desenvolvimento curricular existem atualmente na literatura?**”, verificamos duas categorias gerais, aquela do BCA e a do CA. A primeira objetiva construir grades curriculares mais bem balanceadas em relação à carga de trabalho estudantil; a segunda é dividida em duas perspectivas, uma instrucional e outra estrutural. Os fatores instrucionais constituem-se como variáveis ocultas que não podem ser medidas diretamente. Os fatores estruturais referem-se à maneira que a grade curricular é estruturada, sendo estudada a complexidade gerada pelo posicionamento de disciplinas ao longo da grade e suas restrições (Heileman *et al.*, 2018).

Ao verificarmos os métodos nas tabelas 3, 4 e 5, imediatamente temos a resposta para a questão Q2 “**Quais são os métodos sugeridos para o desenvolvimento curricular?**”. O Balanceamento de Currículo Acadêmico utilizou-se de técnicas de otimização exatas, heurísticas e uma combinação destas, havendo um equilíbrio nas suas utilizações. Destaca-se que, na perspectiva orientada a dados, todas as abordagens são diferentes. Quanto a perspectiva da eficiência curricular, um algoritmo foi desenvolvido para cálculo da crucialidade de disciplinas, a partir da Teoria de Grafos e Análise de Redes Complexas e, para a construção de grades curriculares mais eficientes, foi utilizado um método exato.

As tabelas 3, 4 e 5 nos auxiliam na resposta à questão Q3 “**Quais trabalhos apresentaram ferramentas de subsídio ao desenvolvimento curricular?**”. Podemos verificar que a maior parte dos trabalhos que apresentaram ferramentas para a tarefa de desenvolvimento curricular são da perspectiva orientada a dados, do campo do CA. A outra perspectiva do campo não apresentou nenhuma ferramenta e, dos trabalhos sobre BCA, nenhum apresenta qualquer ferramenta para a construção de percursos curriculares.

Finalmente, as perguntas específicas nos 3s permite responder à pergunta de pesquisa geral “**Como se encontra o estado da arte do desenvolvimento curricular baseado em dados factuais?**”. Partindo dos trabalhos de BCA, que teve sua primeira publicação em 2001, até a primeira publicação do CA em 2014, nota-se que as publicações apresentaram uma constância com diferentes abordagens e métodos aplicados, sendo possível perceber que os estudos do desenvolvimento curricular encontram-se em evolução, embora ainda pouco explorado. As ferramentas para subsidiar as tomadas de decisões estão bastante concentradas na perspectiva orientada a dados, do CA, sendo muito escassas na perspectiva estrutural e não encontradas nos trabalhos de BCA.

Figura 2. Nuvem de palavras produzida a partir dos trabalhos sobre BCA

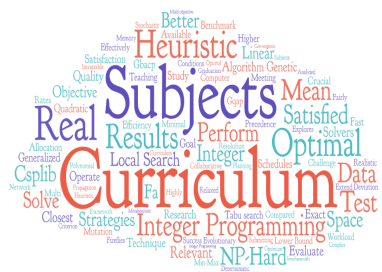
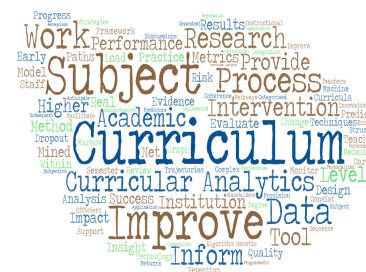


Figura 3. Nuvem de palavras produzida a partir dos trabalhos sobre CA



As figuras 2 e 3 apresentam nuvens de palavras construídas a partir dos trabalhos analisados, destacando os termos mais relevantes dos trabalhos sobre BCA e sobre CA, respectivamente.

Destacam-se, nos trabalhos sobre BCA, os termos como **percurso curricular** ou **currículo**, **disciplinas**, **programação inteira**, **heurística**, **ótimo**, **resultados**, **desempenho**, do inglês *curriculum*, *subjects*, *integer programming*, *heuristic*, *optimal*, *results* e *perform*, respectivamente.

Apesar do BCA ser um tema muito relevante, é possível identificar a escassez de trabalhos relacionados, e termos bem destacados associados à performance, como heurística e desempenho, mostram que os trabalhos são consideravelmente direcionados para a busca de melhorias no desempenho computacional quando da resolução do problema, do que para a sua expansão e aproximação da realidade acadêmica.

As maiores inserções quanto ao CA são de termos como **currículo**, **programa** ou **curso**, **disciplinas**, **Curricular Analytics**, **dados**, **ferramenta**, **intervenção**, **aprimorar**, **insights**, do inglês *curriculum*, *subjects*, *Curricular Analytics*, *data*, *tool*, *intervention*, *improve*, respectivamente. Coerentemente, vê-se a relação entre estes termos, visto que

a expressão *Curricular Analytics* refere-se à tarefa de analisar um currículo em vigor, materializado em suas disciplinas, a partir de ferramentas e dados que promovem *insights* para a realização de intervenções e consequentes aprimoramentos.

Nota-se que o CA ainda é bastante incipiente quanto ao desenvolvimento de percursos curriculares. Embora este campo forneça ferramentas que possibilitam identificar necessidades de melhorias nos currículos, a tarefa direta e objetivamente associada à construção de percursos do estudante ainda carece de maiores evoluções e entregas, especialmente naquelas relacionadas à perspectiva estrutural.

Vê-se, pois, que o CA e o BCA são complementares. O CA fornece resultados sobre gargalos curriculares, ao passo que o BCA pode utilizar-se destas informações para construir modelos cada vez mais abrangentes. Apenas uma abordagem na literatura, encontrada em Slim *et al.* (2015), combinou os dois campos para a construção de percursos curriculares otimizados. Portanto, estudos posteriores têm a oportunidade de evoluir o campo do desenvolvimento curricular baseado em dados factuais, criando critérios, restrições e estratégias de resolução do BACP a partir de *insights* advindos do CA.

4. Conclusões

Os trabalhos recuperados sobre desenvolvimento curricular podem ser agrupados em duas categorias: Balanceamento de Currículo Acadêmico (BCA) e *Curricular Analytics* (CA). O campo do *Curricular Analytics* ainda divide-se em duas perspectivas: uma que utiliza-se de variáveis ocultas para a geração de *insights* nas tomadas de decisões, e outra que verifica a eficiência do percurso do estudante.

Embora haja a possibilidade de integração do BCA com o CA, apenas o trabalho de Slim *et al.* (2015) combinou os dois campos quando objetivou balancear a carga de trabalho suportada por dados de crucialidade de disciplinas. Salienta-se também, a partir da revisão apresentada, que produtos de *software* precisam ser desenvolvidos, especialmente no campo do BCA, para que tomadas de decisões sobre currículos sejam mais assertivas, favorecendo o sucesso do estudante.

Assim, encontra-se em curso o desenvolvimento de um novo modelo multiobjetivo intitulado Balanceamento de Currículo Acadêmico com Dados de Retenção, que possui três objetivos: distribuir de forma mais homogênea os créditos entre os períodos, aproximar as disciplinas inter-relacionadas e reduzir a localização em um mesmo período de disciplinas com índices históricos de retenção elevados. O modelo foi transcrito utilizando um algoritmo exato de Programação Inteira Quadrática Mista e Programação por Restrições sendo aplicado o método da Soma Ponderada na consecução das soluções, constituídas na fronteira de Pareto. Paralelamente, objetivando proporcionar a gestores de cursos e estudantes a construção de percursos curriculares otimizados e personalizados, um produto de *software* que abarca o modelo encontra-se em desenvolvimento. Os testes preliminares, utilizando dados reais, apresentaram resultados promissores.

Referências

- Aguilar-Solís, J. A. **Un modelo basado en optimización para balancear planes de estudio en Instituciones de Educación Superior**. Tese (Doutorado) — Universidade Popular Autónoma do Estado de Puebla, Puebla, 2008.
- Castro, C.; Crawford, B.; Monfroy, E. A genetic local search algorithm for the multiple optimisation of the balanced academic curriculum problem. In: **Cutting-Edge Research Topics on Multiple Criteria Decision Making**. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2009. p. 824–832.

- Castro, C.; Manzano, S. Variable and value ordering when solving balanced academic curriculum problems. **CoRR**, cs.PL/0110007, 2001.
- Chakradhar, M. *et al.* Academic Curriculum Load Balancing using GA. **2019 10th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies, ICCCNT 2019**, IEEE, p. 1–5, 2019.
- Chiarandini, M.; Gaspero, L. D.; Gualandi, S.; Schaerf, A. The balanced academic curriculum problem revisited. **Journal of Heuristics**, Springer, v. 18, n. 1, p. 119–148, 2012.
- Dawson, S.; Hubball, H. Curriculum Analytics: Application of Social Network Analysis for Improving Strategic Curriculum Decision-Making in a Research-Intensive University. **Teaching & Learning Inquiry The ISSOTL Journal**, v. 2, n. 2, p. 59–74, sep 2014.
- Dedic, F.; Bijedic, N.; Gaspar, D. Genetic algorithms as a tool for development of balanced curriculum. **Interdisciplinary Description of Complex Systems**, v. 18, n. 2-B, p. 175–193, 2020.
- Dermeval, D. *et al.* Applications of ontologies in requirements engineering: a systematic review of the literature. **Requirements Engineering**, v. 21, n. 4, p. 405–437, nov 2016.
- Gaspero, L.; Schaerf, A. Hybrid local search techniques for the generalized balanced academic curriculum problem. In: **Proceedings of the 5th International Workshop on Hybrid Metaheuristics**. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2008. (HM '08), p. 146–157.
- Greer, J.; Banow, R.; Thompson, C.; Frost, S. Data-driven programmatic change at universities: What works and how. **CEUR Workshop Proceedings**, v. 1590, p. 32–35, 2016.
- Heileman, G. L.; Abdallah, C. T.; Slim, A.; Hickman, M. Curricular Analytics: A Framework for Quantifying the Impact of Curricular Reforms and Pedagogical Innovations. p. 1–29, nov 2018.
- Hilliger, I.; Aguirre, C.; Miranda, C.; Celis, S.; Pérez-Sanagustín, M. Design of a curriculum analytics tool to support continuous improvement processes in higher education. In: **Proceedings of the Tenth International Conference on Learning Analytics & Knowledge**. New York, NY, USA: ACM, 2020. p. 181–186.
- Hnich, B.; Kiziltan, Z.; Walsh, T. Modelling a balanced academic curriculum problem. In: **CP-AI-OR-2002**. [S.l.: s.n.], 2002. p. 121–131.
- Jefferson, C.; Miguel, I.; Hnich, B.; Walsh, T.; Gent, I. P. **CSPLib: A problem library for constraints**. 1999. Acesso em: 04 jul. 2022.
- Kember, D. Interpreting student workload and the factors which shape students' perceptions of their workload. **Studies in Higher Education**, v. 29, n. 2, p. 165–184, 2004.
- Kitchenham, B. A.; Charters, S. **Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering**. [S.l.], 2007. Acesso em: 04 jul. 2022.
- Lambert, T.; Castro, C.; Monfroy, E.; Saubion, F. Solving the balanced academic curriculum problem with an hybridization of genetic algorithm and constraint propagation. In: **Artificial Intelligence and Soft Computing – ICAISC 2006**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006. p. 410–419.
- Mendez, G.; Ochoa, X.; Chiluíza, K.; De Wever, B. Curricular Design Analysis: A Data-Driven Perspective. **Journal of Learning Analytics**, v. 1, n. 3, p. 84–119, 2014.
- Monette, J.-N.; Deville, Y.; Dupont, P.; Deville, Y.; Dupont, P. A CP approach to the balanced academic curriculum problem. **The Seventh International Workshop on Symmetry and Constraint Satisfaction Problems (2007)**, 2007.

- Müller, M.; Müller, T.; Roy, P. V. Multiparadigm programming in oz. In: **Workshop on the future of logic programming, international logic programming symposium (ilps 95)**. [S.l.: s.n.], 1995.
- Ochoa, X. Simple metrics for curricular analytics. **CEUR Workshop Proceedings**, v. 1590, p. 20–26, 2016.
- Rosas-Tellez, L. V.; Martínez-Flores, J. L.; Zanella-Palacios, V. Evolutionary Strategies for the Academic Curriculum Balanced Problem. In: **Proceedings of the International Conference on Evolutionary Computation Theory and Applications**. [S.l.]: SciTePress - Science and and Technology Publications, 2011. p. 534–538.
- Rubio, J. M.; Soto, R.; Jorquera, H.; Aguilera, J.; Vidal, C. Solving the balanced academic curriculum problem using firefly algorithm. **Ingeniare**, v. 26, p. 102–112, 2013.
- Rubio, J. M.; Soto, R.; Jorquera, H.; Aguilera, J.; Vidal, C. Solving the Balanced Academic Curriculum Problem Using the ACO Metaheuristic. **Ingeniare. Revista chilena de ingeniería**, v. 26, p. 102–112, 2018.
- Salazar-Fernandez, J. P.; Sepúlveda, M.; Munoz-Gama, J.; Nussbaum, M. Curricular Analytics to Characterize Educational Trajectories in High-Failure Rate Courses That Lead to Late Dropout. **Applied Sciences**, v. 11, n. 4, p. 1436, 2021.
- Silva, G.; Stroele, V.; Dantas, M.; Campos, F. Hold Up: Modelo de Detecção e Controle de emoções em Ambientes Acadêmicos. In: **Anais do XXX Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE 2019)**. [S.l.]: Brazilian Computer Society (Sociedade Brasileira de Computação - SBC), 2019. p. 139.
- Slim, A.; Heileman, G. L.; Lopez, E.; Yusuf, H. A.; Abdallah, C. T. Crucial based curriculum balancing: A new model for curriculum balancing. In: **10th International Conference on Computer Science Education (ICCSE)**. [S.l.: s.n.], 2015. p. 243–248.
- Slim, A.; Kozlick, J.; Heileman, G. L.; Wigdahl, J.; Abdallah, C. T. Network analysis of university courses. In: **Proceedings of the 23rd International Conference on World Wide Web**. New York, NY, USA: ACM, 2014. p. 713–718.
- Ünal, Y. Z.; Uysal, Ö. A new mixed integer programming model for curriculum balancing: Application to a Turkish university. **European Journal of Operational Research**, v. 238, n. 1, p. 339–347, 2014.
- Villalobos-Cid, M.; Orellana, M.; Vasquez, O. C.; Pinto-Sothers, E.; Inostroza-Ponta, M. Dealing with the Balanced Academic Curriculum Problem considering the Chilean Academic Credit Transfer System. **Proceedings - International Conference of the Chilean Computer Science Society, SCCC**, v. 2019-Novem, 2019.
- Wong, W. Y.; Lavrencic, M. Using a risk management approach in analytics for curriculum and program quality improvement. **CEUR Workshop Proceedings**, v. 1590, p. 10–14, 2016.