

Aprendizado de Domínio Aplicada à Educação Matemática, da Computação e Engenharias: um Mapeamento Sistemático

Eduardo Henrique da S. Aranha¹, Jairo Rodrigo S. Carneiro², Alan de O. Santana³

^{1,2,3}Departamento de Informática e Matemática Aplicada
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Natal, RN – Brasil

eduardoaranha@dimap.ufrn.br,
jairo.rodrigsc@gmail.com, alandeoliveirasantana@gmail.com

Abstract. *Mastery learning is an individual learning strategy, where the student progresses through the content at his/her own pace. However, there is no overview about how this solution can be implemented, what academic benefits and open challenges exist. Aiming to fill this gap, we reviewed the literature on mastery learning in computer science, mathematics and engineering courses, where 40 articles were selected for this review. The results of the study show different implementation approaches, varying reported academic performance gains, and challenges such as implementation cost and student procrastination.*

Resumo. O aprendizado de domínio é uma estratégia de aprendizagem individual, onde o aluno avança nos conteúdos ao seu próprio ritmo. Contudo, não existe uma visão geral acerca de como essa solução pode ser implementada, quais benefícios acadêmicos e desafios em aberto. Visando preencher essa lacuna, revisamos a literatura sobre o aprendizado de domínio em cursos da computação, matemática e engenharias, onde 40 artigos foram selecionados para esta revisão. Os resultados do estudo mostram diferentes abordagens de implementação, variando ganhos de desempenho acadêmico relatados, e desafios como custo de implementação e procrastinação dos alunos.

1. INTRODUÇÃO

O Aprendizado de Domínio (do inglês, *Mastery Learning* - ML), tem suas origens em 1984, com Benjamin Bloom. Da perspectiva de Bloom, a variabilidade dos níveis de desempenho dos estudantes no "ensino tradicional" explica-se pelo fato de os professores ensinarem o mesmo conteúdo da mesma forma a todos os estudantes de um grupo num determinado período do tempo [Benjamin; Dhew; Bloom, 1968]. Em contrapartida, a estratégia educacional de Bloom, implica que todos os alunos possam atingir o mesmo nível de compreensão ou domínio do conteúdo, no entanto, o tempo exigido na tarefa pode variar de aluno para aluno [Mikula; Heckler, 2013].

Nesse sentido, ao longo dos anos, pode-se observar através da literatura uma crescente busca por implementar e experimentar esta abordagem em diferentes contextos e áreas educacionais, a exemplo da computação, matemática e engenharias, sendo constantemente reportado os ganhos e desafios relacionados à sua aplicação [Bekki; Dalrymple; Butler, 2012; Mccane, 2017; Ritter et al., 2016].

Tal crescimento, baseia-se fortemente nas mudanças, avanços e inserção das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) e Sistemas Inteligentes em sala de aula [Santana; Aranha, 2019; Santana; Silva; Aranha, 2017], que ajudam a impulsionar

a prática docente e a concretizar os ideais de Bloom nos aspectos de aprendizagem dos alunos. Dessa forma, possibilita-se que eles adaptem seu ritmo de aprendizagem em função dos resultados obtidos. Além disso, estudos indicam que variações suaves na estratégia podem levar a diferentes impactos na forma como os estudantes alcançam o domínio em um curso. Dessa maneira, outras propostas educacionais podem modificar os resultados de aprendizagem advindos desta metodologia [Sayeg-Sánchez; Rodríguez-Paz, 2020].

Assim, na busca de uma melhor compreensão do Aprendizado de domínio usando, especialmente, recursos tecnológicos, bem como, “agregados” por outras estratégias pedagógicas é que propomos realizar um estudo de mapeamento sistemático.

O mapeamento sistemático (MS) é um método que possibilita classificar e contabilizar as contribuições existentes em uma dada área de interesse [Petersen et al., 2008]. Além disso, os resultados de um MS ajudam a identificar lacunas nesta área, capazes de sugerir pesquisas futuras e prover um guia para posicionar adequadamente novas atividades de pesquisa [Kitchenham; Charters, 2007; Kitchenham et al., 2011; Petersen et al., 2008]. Assim, MSs visam prover uma visão geral de um tópico e identificar se há subtópicos nos quais mais estudos primários são necessários.

A principal contribuição do trabalho é apresentar um panorama atual sobre como são projetadas as soluções em Aprendizado de Domínio, especialmente, no que tange ao emprego de ferramentas computacionais. Além disso, identificar os principais ganhos e desafios reportados por estes estudos. Logo, os resultados deste trabalho podem em muito beneficiar os profissionais e pesquisadores da educação, destacando as novas possibilidades de emprego do aprendizado de domínio e oportunidades de pesquisas acadêmicas baseadas nas soluções e lacunas identificadas.

Neste trabalho são apresentados os elementos essenciais do protocolo de pesquisa elaborado, a forma como o processo foi conduzido, e os resultados encontrados. O restante deste documento está organizado da seguinte forma: na Seção 2 são apresentados trabalhos relacionados, bem como as justificativas para o presente estudo de mapeamento. Já a Seção 3 descreve os principais elementos do protocolo de pesquisa e também como o mapeamento foi realizado. A Seção 4 expõe os resultados obtidos. E, finalmente, as conclusões são apresentadas na Seção 5.

2. Trabalhos Relacionados

Na literatura é possível encontrar alguns artigos de revisões sistemáticas da literatura sobre o emprego do aprendizado de domínio em contextos educacionais específicos. Entre eles, podemos destacar o estudo desenvolvido por Garner, Denny e Reilly (2019), que revisaram a literatura sobre o emprego do ML no ensino da Ciência da Computação (CC), entre os anos de 1999 e 2017. Como resultado, entre os 14 achados selecionados, os autores constataram que embora esta estratégia educacional tenha sido aplicada de várias maneiras e de forma exitosa na educação de CC, a literatura ainda é esparsa e carece de uma abordagem unificada e de resultados generalizáveis.

Semelhantemente, Sajadi, Ebadi e Khaghanizadeh (2015), em seu estudo, intitulado “Effectiveness and Challenges of Mastery Learning in Nursing Education: A systematic review”, os autores revisaram a literatura buscando examinar a eficácia e os desafios para a implementação do aprendizado de domínio no sistema de educação em enfermagem. Como resultado, os autores descobriram que embora o ML aumente a

eficácia educacional, sua implementação por razões como a aplicabilidade a alguns assuntos, consumo de tempo, características individuais dos alunos, atraso de alunos talentosos em relação a outros alunos, avaliações formativas e elaboração de testes frequentes, tendem a exigir mais esforços tanto do professor como dos alunos.

2.1. Limitações dos Estudos Anteriores e Justificativa do Mapeamento

Embora os estudos sistemáticos apresentados anteriormente sejam relevantes, podemos identificar algumas limitações que servem como insumos para justificar a necessidade de um novo estudo secundário, tal como este mapeamento, sendo elas:

(i) Os estudos descritos [Garner, Denny and Reilly, 2019; Sajadi, Ebadi and Khaghanizadeh, 2015] não investigam as demais áreas de interesse deste estudo, como a educação matemática de alunos em idade escolar e nos cursos de graduação (sem restrições de conteúdos) e as engenharias;

(i) No trabalho de Garner, Denny e Reilly (2019), nota-se que apenas duas bases de dados eletrônicas foram consultadas para a seleção dos estudos que esteve condicionado à educação em Ciência da Computação. Dessa forma, é possível que trabalhos relevantes presentes em outras bases não tenham sido alcançados. Além disso, verifica-se que entre o conjunto de quatorze (14) artigos que foram extraídos para revisão, apenas um deles é de período superior ao ano de 2015.

Diante do exposto, justifica-se a necessidade de um novo estudo secundário, em vista a sanar as limitações das revisões existentes nos aspectos não abordados. Além disso, com a perspectiva de favorecer a adoção (e aperfeiçoamento) dessa abordagem educacional em cursos de matemática, computação e engenharias, e do mesmo modo, desmistificar seu uso pelos educadores dessas áreas é necessário apresentar-lhes uma visão geral acerca do que se tem sido explorado e reportado.

3. METODOLOGIA

Este mapeamento sistemático segue diretrizes propostas por Petersen et al. (2008) e Kitchenham (2007). Dessa forma, entre as etapas essenciais para a condução deste mapeamento estão: (i) identificação da necessidade do mapeamento, a qual foi apresentada na seção 2.1; (ii) definição de questões de pesquisa; (iii) seleção de estudos primários; (iv) avaliação da qualidade dos estudos e por fim, (v) extração e análise de dados.

3.1. Definição das Questões de Pesquisa

Com base no objetivo deste mapeamento, traçamos as seguintes questões pesquisa:

QP₁. Quais as características das soluções propostas em *mastery learning* aplicadas em cursos de Matemática, Computação e das Engenharias? O objetivo desta questão é identificar como estão sendo projetadas as soluções (componentes arquiteturais, tecnologias acopladas, uso de inteligência artificial, etc.), visando facilitar a criação desse tipo de sistema pela indústria de *software*.

QP₂. Quais benefícios têm sido reportados nesses estudos acerca do *mastery learning*? O objetivo desta questão é auxiliar professores na tomada de decisão pela adoção dessa estratégia, a partir da identificação dos benefícios que podem ser obtidos.

QP₃. Quais desafios e/ou limitações foram identificados na forma com que o mastery learning foi implementado? O objetivo desta questão é identificar possíveis obstáculos e/ou limitações à adoção do mastery learning, destacando oportunidades de pesquisa na academia.

3.2. Processo de Busca

Os artigos considerados neste mapeamento são aqueles indexados pelas bibliotecas digitais ACM Digital Library, ScienceDirect, IEEE Xplore e Scopus. A escolha dessas bases; deu-se tanto pela observação de outros mapeamentos sistemáticos relacionados [Luxton-Reilly, Et Al., 2018; Garner; Denny; Luxton-Reilly, 2019], como pela relevância destas bases no cenário acadêmico nas áreas da computação e matemática, engenharias.

A seguir, temos a string de busca utilizada na base de dados eletrônica Scopus:

(TITLE-ABS-KEY ("mastery learning") AND TITLE-ABS-KEY (math) OR TITLE-ABS-KEY ("computer science") OR TITLE-ABS-KEY (engineering)) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English"))

Para a base de dados Science Direct, aplicamos a string, conforme a seguir:

"mastery learning" AND ("math" OR "computer science" OR "engineering")

As buscas nas demais bases foram realizadas somente com o uso da expressão “mastery learning”, já que a quantidade de artigos retornados viabilizou a restrição pela área de aplicação ser realizada manualmente.

A Tabela 1, apresenta os resultados das buscas realizadas usando as bases eletrônicas especificadas, com um total de 879 artigos retornados.

Tabela 1: Estudos retornados por cada base de dados eletrônica

BASE DE DADOS	QUANTIDADE
ACM Digital Library	196
Elsevier (Science Direct)	334
IEEE Xplore	248
Scopus	101
Total	879

Artigos retornados pela busca são analisados para se avaliar sua pertinência em relação aos objetivos do trabalho. Nesse sentido, uma primeira triagem após a realização das buscas foi efetuada, passando por critérios de inclusão e exclusão (Tabela 2), definidos com base nas questões de pesquisa.

Tabela 2: Critérios de Inclusão e Exclusão

Critérios de Inclusão	Critérios de Exclusão
<p>CI₁: O artigo deve fazer referência explícita ao aprendizado de domínio.</p> <p>CI₂: O estudo investiga o emprego do aprendizado de domínio em cursos de Matemática, Computação e Engenharias.</p> <p>CI₃: O estudo investiga o impacto da inclusão de outras estratégias em cursos que já implementam o aprendizado de domínio.</p>	<p>CE₁: O estudo não aponta benefícios e/ou desafios do emprego do aprendizado de domínio na educação.</p> <p>CE₂: O estudo é uma versão anterior de um estudo mais completo sobre a mesma pesquisa, de forma que o primeiro seja dispensável.</p> <p>CE₃: O trabalho não possui um resumo ou é publicado apenas como resumo e estudos não primários ou secundários (revisões sistemáticas da literatura e mapeamento de estudos).</p> <p>CE₄: O artigo não está escrito em inglês.</p>

Cada estudo teve seus metadados (título, resumo, palavras-chave) avaliados, deixando de lado estudos que claramente não estavam relacionados aos objetivos deste mapeamento. Além disso, por questões de limitação de tempo, este trabalho se limitou a investigar apenas a literatura internacional. Assim, foram descartados os artigos que não atenderam a nenhum dos critérios de inclusão, ou pelo menos a um dos critérios de exclusão. Os artigos que passaram por essa triagem foram mantidos para leitura (completa).

Tabela 3: Estudos selecionados em cada base de dados eletrônica

BASE DE DADOS	SELECIONADOS
ACM Digital Library	14
Elsevier (Science Direct)	9
IEEE Xplore	14
Scopus	3
Total	40

Conforme mostrado na Tabela 3, após a retirada dos artigos não relevantes para este estudo, permaneceram 40 artigos para leitura completa. Para extrair e sintetizar os dados desses artigos, eles foram lidos detalhadamente por um dos autores, sendo os pontos mais importantes resumidos e extraídos. Por fim, os achados foram relatados com base no conteúdo dos temas obtidos. Pode-se notar pela Tabela 3 que a maior parte dos estudos selecionados neste mapeamento são das bibliotecas digitais da ACM (ACM Digital Library) e IEEE (IEEE Xplore), ambas com 14 estudos, mostrando que elas devem ser consideradas por revisões sobre aprendizado de domínio.

3.3. Extração de Dados

De acordo com Kitchenham e Charters (2007), a extração dos dados tem por objetivo desenvolver formas de registrar com precisão as informações obtidas através dos estudos. Portanto, no presente trabalho, a extração de dados se deu através da criação de um formulário cujas informações eram registradas numa planilha eletrônica. Os conteúdos extraídos foram os metadados (itens relacionados ao título, resumos, palavras-chaves, ano de publicação, fonte e autores) e os fragmentos importantes que indicavam a resposta para cada uma das perguntas (questões de pesquisa).

4. Resultados

Esta seção apresenta os resultados obtidos para este mapeamento sistemático a partir da extração de informações dos 40 artigos primários selecionados. O quadro dos estudos selecionados contendo dados gerais como o ano de publicação, autor(es), títulos e os tipos de curso em que foram investigados podem ser visualizados acessando encurtador.com.br/bcPRX.

4.1. Resultados Gerais

A Figura 1 possibilita a visualização de um panorama da quantidade de artigos que relatam experiências de implementação do aprendizado de domínio ao longo dos anos. A ilustração mostra haver um crescente interesse em pesquisas envolvendo a abordagem de domínio, principalmente, entre os anos de 2015 à 2019. Destaque particular para a publicação de 8 artigos no ano de 2019. A pandemia da COVID-19 pode ter prejudicado

as pesquisas em 2020 e 2021, dada a restrição de acesso ou até fechamento de muitas escolas e universidades.

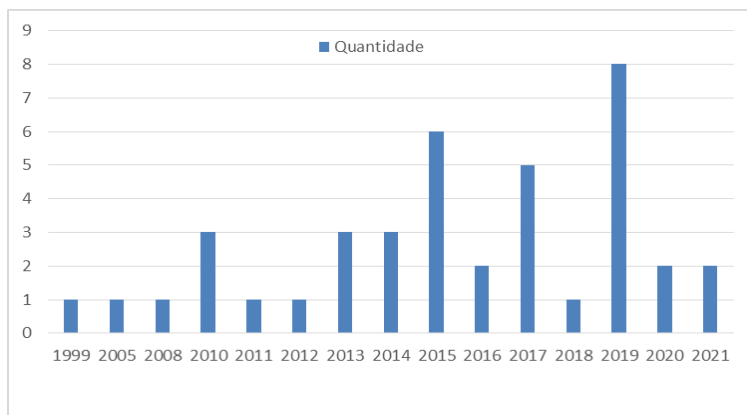


Figura 1: Artigos publicados por ano

Com relação ao tipo de curso em que a abordagem foi empregada, nota-se pela Figura 2 que estes são em sua grande maioria pesquisas em computação.

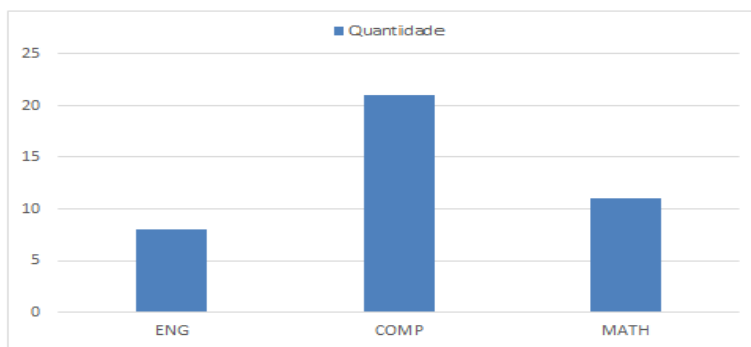


Figura 2: Distribuição por curso

QP₁: Quais as características das soluções propostas em *mastery learning* aplicadas em cursos de Matemática, Computação e Engenharia?

Tratando-se da identificação das características das soluções propostas nos estudos selecionados, optamos inicialmente por subdividi-los em dois grupos (Tabela 4), sendo eles: 01) formado por aqueles cuja abordagem de aprendizado de domínio foi adotada de maneira tradicional; e 02) aqueles que explicitamente declaram efetuar algum tipo de modificação/adaptação na abordagem para atender algum critério e/ou necessidade do curso.

Tabela 4: Abordagem tradicional e modificada do mastery learning

Abordagem Tradicional		Artigo
<i>Preservou as características tradicionais do ML: divisão dos conteúdos em unidades definidas e sequenciadas; os alunos só são autorizados a avançar para a próxima unidade se atingirem o domínio no estágio atual; fornecimento de feedback; testes/exercícios de domínio ilimitados, etc.</i>		[02], [16], [18], [12], [30], [19], [26], [36], [17], [34], [10], [32], [21], [20], [14], [39], [07], [28], [23], [13], [01], [04], [05], [08], [09], [22], [29], [31], [32], [37], [15]
Abordagem Modificada/Adaptada		
Justificativa	Adaptações	Artigo
<i>(O tutor é necessário) para ajudar os alunos a</i>	<i>ênfatisou bastante o papel do tutor, bem como, também</i>	[24]

<i>obter um senso de realização e também para apoiar os alunos, que são mais orientados para a comunicação verbal</i>	<i>reduziu consideravelmente o tamanho do grupo atendido pelo tutor</i>	
<i>Custo de implementação do Mastery Learning</i>	<i>Testes de segunda chance</i>	[03]
	<i>Para avançar para tópico seguinte não era necessário aprovação no estágio atual</i>	[35], [06]
<i>Rigidez do cronograma curricular do curso e/ou visando maior adequação a este</i>	<i>Diferentemente do método convencional em que os alunos devem atingir 100% de competência, obter uma pontuação de 50% no teste de domínio foi suficiente</i>	[25]
	<i>Diferente do modelo tradicional o ciclo de avaliações formativas e feedbacks para dominar o material é finito</i>	[27], [33], [40],
<i>Devido em parte ao contexto universitário e em parte à nossa própria ênfase no desenvolvimento de habilidades e conhecimentos relativos aos conteúdos</i>	<i>Quando um aluno falha em dominar um módulo, ele deve refazer todo o teste</i>	[38]

Tratando-se de como foram projetadas as soluções empregadas, isto é, que recursos tecnológicos/computacionais foram utilizadas e quais as suas características, foi elaborada a Tabela 5 a seguir.

Tabela 5: Características das soluções empregadas em mastery learning

Tecnologia Aplicada	Características das Soluções	Artigo
Sistema de Gestão de Aprendizagem (Learning Management System - LMS) ou similar	<i>Seguindo a estratégia de ML, os conteúdos de aprendizado foram divididos em unidades gerenciáveis, para acesso autônomo e progressivo pelos alunos</i>	[02], [34], [07], [24], [04], [22], [05], [29]
Sistema de exercícios/avaliação de ML (automatizado)	<i>Exercícios estruturadas em unidades e classificadas por níveis de complexidades</i>	[01], [27], [08], [09], [37],[38,] [04], [05], [06], [15], [18], [35], [33], [40], [19]
Ferramenta computacional em nuvem		
Software	Características	
<i>Laboratório de Programação on-line, Vocareum [13]</i>	<i>Permite aos professores escrever a descrição de um exercício de programação, definir os casos de teste que o programa deve gerir e publicar este exercício aos alunos. Além disso, o docente pode acompanhar os envios dos alunos via dashboard</i>	
<i>Sistema computacional gamificado, denominado TST [07]</i>	<i>O TST, é um sistema web é que automatizam o teste e a verificação de exercícios e atribuições de programação de computador.</i>	
<i>ambiente de aprendizagem online STEM SI [28]</i>	<i>O STEM SI, fornece aos alunos acesso a uma série de vídeos aulas e documentos em pdf destinados a apresentar e explicar cada um dos tópicos específicos.</i>	
<i>Sistema de Gerenciamento de Avaliação de Rede (NAMS) [39]</i>	<i>O NAMS é um sistema escalável de avaliação baseado em progresso. Para tanto, o sistema rastreia o desempenho de cada aluno em testes de avaliação e usa esses dados para disponibilizar conteúdo de curso personalizado em tempo real</i>	
<i>PrairieLearn [03]</i>	<i>PrairieLearn é um sistema online de aprendizado baseado em problemas para a criação de trabalhos de casa e exames</i>	
<i>Plataforma de Aprendizagem, conhecida como INFORMA [14]</i>	<i>Permite que cada aluno possa progredir nos tópicos do curso ao seu próprio ritmo, além de possibilitar a visualização de tópicos concluídos pelo aluno</i>	
<i>PLEASE (Programming Learning Evaluation and Assessment System for Education) [32]</i>	<i>O PLEASE é um sistema automatizado que recolhe e avalia atividades de programação, geradas de modo pseudo-aleatório de dificuldade variável. O sistema testa automaticamente a tentativa do aluno, e se ele passar nesses testes, oferece ao aluno a oportunidade de submeter seu trabalho para revisão manual</i>	
Sistema Tutor Inteligente (STI)		
Software	Características	
<i>DifITS (uma abreviação para Differentiation Intelligent Tutoring</i>	<i>Utiliza lógica fuzzy (ou lógica difusa), um método de decisão, potencialmente útil para classificar e avaliar o desempenho individual dos alunos em relação aos objetivos educacionais estabelecidos de forma semelhante aos humanos. Já a arquitetura do</i>	

<i>System</i>) [23]	<i>DifITS</i> consiste de seis componentes principais: modelo do aluno, modelo de tutorial, modelo de domínio, sistema especialista e banco de dados de perguntas
<i>Carnegie Learning's Cognitive Tutor</i> [20], [30]	O software <i>Cognitive Tutor</i> divide um curso de matemática em tópicos principais chamados de módulos. Ele permite que os instrutores criem um currículo personalizado, para atender às necessidades e requisitos dos alunos e das escolas. Além disso, <i>Carnegie</i> também avalia os alunos continuamente
<i>ALEKS</i> [30]	Avalia os alunos continuamente usando inteligência artificial. O <i>ALEKS</i> estrutura as perguntas e solicita a entrada do aluno de forma que a resolução de um problema seja semelhante ao que um aluno faria no papel
<i>Sistema de aprendizado de domínio orientado a dados (DDML)</i> [21]	O <i>DDML</i> usa rastreamento de conhecimento (KT) de ações do tutor em dados anteriores de desempenho do aluno-tutor para avaliar regularmente o desempenho do novo aluno e selecionar conjuntos de problemas estruturados sucessivos
<i>Sistema de Tutoria (TS)</i> [16]	O <i>TS</i> consiste em pequenas unidades modulares de conteúdo educacional de ritmo individualizado, incluindo vídeos tutoriais, notas e e-avaliação formativa com <i>feedback</i> personalizado. O <i>ST</i> garante que o aluno só poderá prosseguir para a próxima unidade após atingir o critério de domínio exigido da unidade atua
Algoritmo chamado <i>EduRank</i> [12]	O <i>EduRank</i> foi usado para sequenciar questões de matemática para os alunos por ordem de dificuldade
<i>Sistema Tutor Inteligente Adaptativo Baseado na Web</i> [26]	Apoia os professores no manuseio e gerenciamento de seu curso de programação
Tecnologia Aplicada	Outros
<i>Ferramenta de aprendizagem baseada em jogos online (GBL)</i> [11]	Integrando elementos do <i>MI</i> , o <i>prog-GBL</i> auxilia os alunos a aprender programação com mais confiança e maior motivação à medida que se envolvem no jogo
<i>Lápis e Papel</i> [10], [36]	<i>Thinkathon</i> : Exercícios de programação baseado em papel e caneta que seguem uma sequência de desenvolvimento, em que cada etapa incremental é pequena, que desafia os alunos e se baseia no tópico anterior.
	Problemas de álgebra para serem resolvidas usando papel e lápis com auxílio de um livro autoguiado <i>AMaLM</i> que incorpora conceitos de aprendizado de domínio.

Nota-se na Tabela 5, que diferentes ferramentas computacionais são empregadas na implementação do aprendizado de domínio, com destaque para os sistemas de exercícios e avaliação automatizados, ambientes de aprendizagem *on-line* e os Sistemas Tutores Inteligentes (STIs). A crescente adesão aos STIs, justifica-se pelo aumento da heterogeneidade dos alunos dentro da sala de aula, onde a eficácia dos métodos tradicionais de ensino diminui. Além disso, uma vez que estas ferramentas favorecem o *feedback* frequente e imediato, os alunos podem encontrar suas falhas de aprendizado e intervir para corrigir seus conhecimentos, indo ao encontro dos ideais do aprendizado de domínio. Ademais, pode-se observar entre os estudos analisados que estratégias “desplugadas”, baseadas em papel e caneta/lápis, como em [10], [36], também foram empregados como mecanismos que viabilizam a adoção do aprendizado de domínio.

QP₂. Quais os benefícios têm sido reportados nesses estudos acerca do mastery learning?

Os benefícios reportados nos artigos resultantes deste mapeamento sistemático, independentemente de seu modelo de implementação, são sumarizados na Tabela 6.

Tabela 6: Benefícios Reportados

		BENEFÍCIOS	Artigo
A L U N O	<i>Melhorias/Ganhos de desempenho (acadêmico)</i>	<i>Melhoria de notas</i>	[35], [34], [10], [04], [19], [03],[05], [24], [06], [38]
		<i>Mudança/Melhorias de atitudes dos alunos (autopercção)</i>	[01], [08], [11], [30], [10], [27],[24], [15], [19]
		<i>Engajamento</i>	[09], [29], [16], [19], [17], [14], [21], [33], [07]

		<i>Redução da taxa de ansiedade do exame</i>	[13], [36], [27]	
		<i>Formação de turmas com níveis de domínio/competências mais homogêneas para as etapas seguintes do curso</i>	[31], [18], [25]	
	<i>Personalização da aprendizagem</i>		<i>Distribuição mais uniforme da carga de trabalho estudantil</i>	[26], [13], [28], [32], [27]
			<i>Feedbacks rápidos e regulares</i>	[27], [01], [30], [20], [33]
			<i>ritmo do aluno</i>	[01], [37], [21], [13], [02], [16], [30], [07], [22]
		<i>Redução da taxa de abandono/evasão do curso</i>	[13]	
P R O F E S S O R	<i>Personalização do Ensino</i>		<i>Substituição do cronograma fixo pelo de domínio</i>	[13]
			<i>feedback individualizado</i>	[16], [33], [37]
			<i>identificação das necessidades dos alunos e visão mais profunda sobre seus desempenhos</i>	[06], [26], [13], [27]

Nota-se a partir dos dados sumarizados que, de maneira geral, a adoção do aprendizado de domínio, dentro dos contextos investigados, independentemente do seu modelo de implementação, tende a resultar em benefícios que se relacionam diretamente a *ganhos de desempenho acadêmico, personalização do ensino e da aprendizagem*. A formação de turmas com níveis de domínio/competências mais homogêneas, bem como a redução da taxa de abandono/evasão do curso, também são ganhos reportados à sua adoção. Tudo isso, evidentemente, comprova a eficácia educacional do aprendizado de domínio, associada a inúmeras vantagens concretas aos professores e educandos.

QP₃. Quais desafios e/ou limitações foram identificados na forma com que o *mastery learning* foi implementado?

A Tabela 7 resume os desafios e limitações relatados pelos estudos sobre a aplicação de aprendizagem de domínio.

Tabela 7: Desafios e/ou limitações no modelo de ML implementado

DESAFIOS E/OU LIMITAÇÕES		Artigo
<i>Alto esforço para desenvolvimento de avaliações e/ou atividades de domínio significativas</i>	<i>Sobrecarga de trabalho docente</i>	[35], [33], [38], [09]
		[10], [32], [27], [05], [29], [37]
	<i>Escalonamento de entrega (pouco escalável)</i>	[36], [24], [25], [31]
	<i>Dispersão de notas em exames (notas de aprovação e reprovação)</i>	[05]
<i>Procrastinação</i>	<i>Percepção negativa dos alunos com as forma de avaliação de domínio ou mudanças exigidas pela abordagem</i>	[27], [33], [15]
	<i>Falta de engajamento/motivação</i>	[02],[03], [05], [29], [01], [09], [37]
	<i>Acomodar diferentes tipos de alunos (baixo e alto desempenho)</i>	[27]
	<i>Limitações do Sistema/ambiente tecnológico (sistemas limitados a questões de múltipla escolha; módulos de conteúdos limitados, etc.).</i>	[34], [14], [17]
	<i>Alterações estruturais do curso (adaptação ao currículo institucional tradicional - fixo)</i>	[25], [02], [28], [18], [30], [20], [31], [15]

<i>Forte dependência de interação com o tutor (humano)</i>	[24], [25], [33], [10]
--	------------------------

Tratando-se dos principais desafios e/ou limitações reportados/identificados nesses estudos selecionados, nota-se com base na Tabela 7 que duas desafios centrais ainda permanecem em aberto, sendo elas: i) *alto esforço para o desenvolvimento de avaliações e/ou atividades de domínio significativas* [10], [32], [27], [05], [29], [37], isto é, desenvolver um conjunto de exercícios de domínio seguras e balanceadas, com níveis de dificuldades progressivas e em quantidade suficiente para que o aluno alcance o domínio no tópico de aprendizagem. Tudo isso, evidentemente, pode em muito refletir em uma sobrecarga de trabalho docente [35], [33], [38], [09]; ii) *procrastinação*, principalmente no que tange a manter os alunos *motivados/engajados*.

5. Considerações Finais

O principal objetivo desse estudo de mapeamento é proporcionar uma visão geral do que tem sido investigado sobre o aprendizado de domínio aplicada à educação escolar e universitária em cursos de matemática, computação e engenharias. Para cumprir esses objetivos, seguiu-se uma metodologia sistemática, ou seja, o mapeamento sistemático.

Semelhante ao que foi identificado por Garner; Denny e Luxton-Reilly (2019) para os cursos da computação, observa-se também não haver uma unicidade para implementação do aprendizado de domínio nos cursos nas áreas das engenharias e matemática, variando de abordagens que fazem uso desde STI, jogos *online*, a modelos desplugados, conforme indicado pela **QP₁**. Ganhos concretos da adoção do aprendizado de domínio também puderam ser identificados na **QP₂**, que se relacionam diretamente a *ganhos de desempenho acadêmico*, contribuindo para a melhoria das notas dos alunos nos exames finais dos cursos, bem como no engajamento destes, por exemplo. A *personalização do ensino e da aprendizagem*, também foram reportados, favorecendo o envio e recebimento de *feedback* individualizados e regulares, entre outras ações. Contudo, fatores ligados ao custo de implementação da abordagem de domínio, currículos acadêmicos fixos e a procrastinação dos alunos, ainda são desafios a serem superados (**QP₃**).

Para investigações futuras, destacamos a possibilidade de investigar o emprego de outras estratégias pedagógicas, técnicas ou computacionais em cursos que já empregam o aprendizado de domínio nas áreas abordadas. Além disso, os resultados obtidos neste mapeamento servem como suporte e estímulo para os presentes pesquisadores e outros interessados no desenvolvimento de sistemas computacionais, especialmente, com uso de técnicas e paradigmas de Inteligência Artificial para implementação do Aprendizado de Domínio em larga escala.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), processo n° 130990/2021-3. Os autores também agradecem a CAPES e ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas Computacionais – PPGSC/UFRN pelo suporte parcial a esta pesquisa.

Referências

- Bekki, J. M. O. Dalrymple and C. S. Butler, "A mastery-based learning approach for undergraduate engineering programs," *2012 Frontiers in Education Conference Proceedings*, 2012, pp. 1-6, doi: 10.1109/FIE.2012.6462253.
- Benjamin, S., Dhew, E., & Bloom, B. (1968). Learning for mastery. *Eval. Comment*, 1, 1-12.
- Garner, James; Denny, Paul; Luxton-Reilly, Andrew. 2019. Mastery Learning in Computer Science Education. Proceedings of the Twenty-First Australasian Computing Education Conference. *Association for Computing Machinery*, New York, NY, USA, 37–46.
- Kitchenham, B. (2007). Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering: Version 2.3. In: EBSE Technical Report. School of Computer Science and Mathematics, Keele University. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.117.471&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 05 jul. 2022.
- Luxton-Reilly, Andrew et al. Introductory programming: a systematic literature review. In: Proceedings Companion of the 23rd Annual ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education. 2018. p. 55-106.
- McCane, B., Ott, C., Meek, N., & Robins, A. (2017, January). Mastery learning in introductory programming. In *Proceedings of the nineteenth australasian computing education conference* (pp. 1-10).
- Mikula B. D. and A. F. Heckler, "The effectiveness of brief, spaced practice on student difficulties with basic and essential engineering skills," *2013 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 2013, pp. 1059-1065, doi: 10.1109/FIE.2013.6684989.
- Petersen, K., Feldt, R., Mujtaba, S. and MATTSSON, M. (2008) Systematic mapping studies in software engineering. In Proceedings of the international conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering, 68-77.
- Ritter, S., Yudelson, M., Fancsali, S. E., & Berman, S. R. (2016, April). How mastery learning works at scale. In Proceedings of the Third (2016) ACM Conference on Learning@ Scale (pp. 71-79).
- Santana, A., Aranha, E. An Approach to Generate Virtual Tutors for Game Programming Classes. In: The SIG Computer Science Education Technical Symposium (SIGCSE 2019), 2019, Minneapolis, USA. Proc. of The SIGCSE Technical Symposium 2019, 2019.
- Santana, A.; Silva, T. R.; Aranha, E. Um Modelo de Tutor Virtual para Aulas Baseadas em Missões de Programação de Jogos Digitais. In: CBIE 2017 - III Workshop de Ensino em Pensamento Computacional, Algoritmos e Programação, 2017. Anais do CBIE 2017, 2017.
- Sajadi, Seyedeh Azam; Ebadi, Abbas; Khaghanizadeh, Morteza. Effectiveness and challenges of mastery learning in nursing education: A systematic review. *International Journal of Medical Reviews* 2.4 (2015): 309-316.
- Sayeg-Sánchez, G. and M. X. Rodríguez-Paz, "Performance of college students in a statistics course using mastery learning," *2020 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 2020, pp. 746-751.

Artigos Selecionados

- [01] Hillman, E. F., Figueroa, G. L., Morales, I. V., Papadopoulos, C., & Santiago-Román, A. I. (2021, July). Toward Benchmarking Student Progress in Mechanics: Assessing Learning Cycles through Mastery Learning and Concept Questions. In *2021 ASEE Virtual Annual Conference Content Access*.
- [02] Ott, C., McCane, B., & Meek, N. (2021, June). Mastery Learning in CS1-An Invitation to Procrastinate?: Reflecting on Six Years of Mastery Learning. In *Proceedings of the 26th ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education V. I* (pp. 18-24).
- [03] Herman, G. L., Cai, Z., Bretl, T., Zilles, C., & West, M. (2020, August). Comparison of grade replacement and weighted averages for second-chance exams. In *Proceedings of the 2020 ACM Conference on International Computing Education Research* (pp. 56-66).
- [04] G. Sayeg-Sánchez and M. X. Rodríguez-Paz, "Performance of college students in a statistics course using mastery learning," *2020 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 2020, pp. 746-751, doi: 10.1109/EDUCON45650.2020.9125122.
- [05] G. Sayeg-Sánchez and M. X. Rodríguez-Paz, "Factors That Impact Mastery Learning in a Probability and Statistics Course," *2019 IEEE 11th International Conference on Engineering Education (ICEED)*, 2019, pp. 174-177, doi: 10.1109/ICEED47294.2019.8994920.
- [06] E. Baniassad, A. Campbell, T. Allidina and A. Ord, "Teaching Software Construction at Scale with Mastery Learning: A Case Study," *2019 IEEE/ACM 41st International Conference on Software Engineering: Software Engineering Education and Training (ICSE-SEET)*, 2019, pp. 182-191, doi: 10.1109/ICSE-SEET.2019.00027.
- [07] R. G. de Pontes, D. D. S. Guerrero, and J. C. A. de Figueiredo, "Analyzing Gamification Impact on a Mastery Learning Introductory Programming Course," in *Proceedings of the 50th ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, 2019, pp. 400–406, doi: 10.1145/3287324.3287367.
- [08] Stegeman, M. (2019, November). A set of exercises and tests for teaching tracing skills using a mastery approach. In *Proceedings of the 19th Koli Calling International Conference on Computing Education Research* (pp. 1-2).
- [09] Campbell, J., Petersen, A., & Smith, J. (2019, February). Self-paced mastery learning cs1. In *Proceedings of the 50th acm technical symposium on computer science education* (pp. 955-961).
- [10] Cutts, Q., Barr, M., Bikanga Ada, M., Donaldson, P., Draper, S., Parkinson, J., ... & Sundin, L. (2019, July). Experience Report: Thinkathon--Countering an "I Got It Working" Mentality with Pencil-and-Paper Exercises. In *Proceedings of the 2019 ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education* (pp. 203-209).
- [11] Ubaidullah, N., Hamid, J., & Mohamed, Z. (2019). Integrating the arcs motivational elements into an on-line game-based learning application: Does the

- application enhance students' motivation in learning programming. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(11), 1493-1501.
- [12] Segal, A., Gal, K., Shani, G., & Shapira, B. (2019). A difficulty ranking approach to personalization in E-learning. *International Journal of Human-Computer Studies*, 130, 261-272.
- [13] Y. M. Treviño and M. R. L. Cavazos, "Effects of immediate feedback using ICT in a CS1 course that implements Mastery Learning," *2018 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/FIE.2018.8658845.
- [14] Hauswirth, M., & Adamoli, A. (2017, November). Metacognitive calibration when learning to program. In *Proceedings of the 17th Koli Calling International Conference on Computing Education Research* (pp. 50-59).
- [15] McCane, B., Ott, C., Meek, N., & Robins, A. (2017, January). Mastery learning in introductory programming. In *Proceedings of the nineteenth australasian computing education conference* (pp. 1-10).
- [16] Paiva, R. C., Ferreira, M. S., & Frade, M. M. (2017). Intelligent tutorial system based on personalized system of instruction to teach or remind mathematical concepts. *Journal of Computer Assisted Learning*, 33(4), 370-381.
- [17] Lim, E. W. C. (2017). A design software to facilitate learning via repeated practice by Chemical Engineering students. *Education for Chemical Engineers*, 21, 72-79.
- [18] Mullen, J., Byun, C., Gadepally, V., Samsi, S., Reuther, A., & Kepner, J. (2017). Learning by doing, High Performance Computing education in the MOOC era. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 105, 105-115.
- [19] Tijaro-Rojas, R., Arce-Trigatti, A., Cupp, J., Pascal, J., & Arce, P. E. (2016). A Systematic and Integrative Sequence Approach (SISA) for mastery learning: Anchoring Bloom's Revised Taxonomy to student learning. *Education for Chemical Engineers*, 17, 31-43.
- [20] Ritter, S., Yudelson, M., Fancsali, S. E., & Berman, S. R. (2016, April). How mastery learning works at scale. In *Proceedings of the Third (2016) ACM Conference on Learning@ Scale* (pp. 71-79).
- [21] Mostafavi, B., Eagle, M., & Barnes, T. (2015, March). Towards data-driven mastery learning. In *Proceedings of the Fifth International Conference on Learning Analytics And Knowledge* (pp. 270-274).
- [22] A. Takahashi *et al.*, "Design of advanced active and autonomous learning system for computing education — A3 learning system," *2015 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE)*, 2015, pp. 77-82, doi: 10.1109/TALE.2015.7386020.
- [23] F. C. S. Tiing, M. N. A. Azlan and H. K. Sam, "The development of DifITS," *2015 International Conference on Computer, Communications, and Control Technology (I4CT)*, 2015, pp. 304-308, doi: 10.1109/I4CT.2015.7219586.
- [24] D. Capovilla, M. Berges, A. Mühling and P. Hubwieser, "Handling Heterogeneity in Programming Courses for Freshmen," *2015 International Conference on Learning and Teaching in Computing and Engineering*, 2015, pp. 197-203, doi: 10.1109/LaTiCE.2015.18.

- [25] M. Jazayeri, "Combining Mastery Learning with Project-Based Learning in a First Programming Course: An Experience Report," *2015 IEEE/ACM 37th IEEE International Conference on Software Engineering*, 2015, pp. 315-318, doi: 10.1109/ICSE.2015.163.
- [26] Kularbphetong, K., Kedsiribut, P., & Roonrakwit, P. (2015). Developing an adaptive web-based intelligent tutoring system using mastery learning technique. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 191, 686-691.
- [27] O. M. Ashour, S. Sangelkar, R. L. Warley and O. Onipede, "Redesign the engineering teaching and assessment methods to provide more information to improve students' learning," *2014 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) Proceedings*, 2014, pp. 1-6, doi: 10.1109/FIE.2014.7044286.
- [28] F. M. Capaldi, "Mastery learning in Statics using the STEM SI online learning environment," *Proceedings of the 2014 Zone 1 Conference of the American Society for Engineering Education*, 2014, pp. 1-3, doi: 10.1109/ASEEZone1.2014.6820671.
- [29] B. D. Mikula and A. F. Heckler, "The effectiveness of brief, spaced practice on student difficulties with basic and essential engineering skills," *2013 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 2013, pp. 1059-1065, doi: 10.1109/FIE.2013.6684989.
- [30] Sophie Engle and Sami Rollins. 2013. Expert code review and mastery learning in a software development course. *J. Comput. Sci. Coll.* 28, 4 (April 2013), 139–147.
- [31] Shaffer, S. C., & Rosson, M. B. (2013). Increasing student success by modifying course delivery based on student submission data. *ACM inroads*, 4(4), 81-86.
- [32] Sabo, K. E., Atkinson, R. K., Barrus, A. L., Joseph, S. S., & Perez, R. S. (2013). Searching for the two sigma advantage: Evaluating algebra intelligent tutors. *Computers in Human Behavior*, 29(4), 1833-1840.
- [33] J. M. Bekki, O. Dalrymple and C. S. Butler, "A mastery-based learning approach for undergraduate engineering programs," *2012 Frontiers in Education Conference Proceedings*, 2012, pp. 1-6, doi: 10.1109/FIE.2012.6462253.
- [34] Rae, A., & Samuels, P. (2011). Web-based Personalised System of Instruction: An effective approach for diverse cohorts with virtual learning environments?. *Computers & education*, 57(4), 2423-2431.
- [35] Shafie, N., Shahdan, T. N. T., & Liew, M. S. (2010). Mastery learning assessment model (MLAM) in teaching and learning mathematics. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 8, 294-298.
- [36] Davrajoo, E., Tarmizi, R. A., Nawawi, M., & Hassan, A. (2010). Enhancing algebraic conceptual knowledge with aid of module using mastery learning approach. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 8, 362-369.
- [37] LeJeune, N. (2010). Contract grading with mastery learning in CS 1. *Journal of Computing Sciences in Colleges*, 26(2), 149-156.
- [38] W. J. Leonard, C. V. Holot and W. J. Gerace, "Mastering circuit analysis: An innovative approach to a foundational sequence," *2008 38th Annual Frontiers in Education Conference*, 2008, pp. F2H-3-F2H-8, doi: 10.1109/FIE.2008.4720568.

- [39] D. Tian, "A progress-based online assessment system for first-year networking classes," *Proceedings Frontiers in Education 35th Annual Conference*, 2005, pp. S2H-31, doi: 10.1109/FIE.2005.1612251.
- [40] Urban-Lurain, M., & Weinshank, D. J. (1999). "I do and I understand" mastery model learning for a large non-major course. *ACM SIGCSE Bulletin*, 31(1), 150-154.