

MAPAS CONCEITUAIS COMO INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO FORMATIVA NO ENSINO SUPERIOR DE FÍSICA: UMA ABORDA-GEM HÍBRIDA ESTRUTURAL- SEMÂNTICA SOBRE O CONCEITO DE FORÇA

**CONCEPT MAPS AS A FORMATIVE ASSESSMENT TOOL IN HIGHER
EDUCATION PHYSICS: A HYBRID STRUCTURAL-SEMANTIC APPROACH TO
THE CONCEPT OF FORCE**

Ciências Exatas e da Terra • 26/07/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/784733097](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/784733097)

Agostinho Ferreira¹

Fabricia Nunes de Jesus²

Gisele Cristina Gonçalves³

RESUMO

Este estudo investiga o uso de mapas conceituais como instrumento de avaliação formativa no ensino superior de Física, com foco na aprendizagem do conceito de força em cursos de Engenharia. A pesquisa configura-se como estudo de caso instrumental com métodos mistos, realizado com 57 estudantes da disciplina Física I de uma universidade pública brasileira. Foram aplicados pré-teste e pós-teste, complementados por duas construções de mapas conceituais intercaladas por uma sessão de devolutiva pedagógica, na qual os padrões identificados na primeira construção foram discutidos coletivamente antes da segunda. A análise dos mapas seguiu abordagem híbrida, combinando indicador estrutural simples (número de conceitos relacionados) com análise qualitativa categorial das proposições de um subconjunto de mapas. Os resultados indicam melhora no desempenho médio no pós-teste e ganho normalizado médio ($g = 0,344$), além de reorganização estrutural nos mapas produzidos entre as duas construções. A análise qualitativa revelou a emergência de proposições cientificamente adequadas, concomitante à persistência de concepções alternativas em parte dos estudantes, mesmo após a intervenção. Argumenta-se que a função formativa da pesquisa reside especificamente no ciclo diagnóstico-devolutiva-nova produção, e não no desenho pré/pós-teste, que cumpre papel complementar e descritivo. Discutem-se as limitações da abordagem híbrida adotada e apontam-se direções para o refinamento metodológico de pesquisas futuras sobre avaliação por mapas conceituais em Física.

Palavras-chave: Ensino de Física; Mapas conceituais; Avaliação formativa; Aprendizagem significativa; Ensino superior.

ABSTRACT

This study investigates the use of concept maps as a formative assessment tool in higher education physics, focusing on the learning of the concept of force in engineering programs. The research is configured as a mixed-methods instrumental case study, conducted with 57 students enrolled in a Physics I course at a Brazilian public university. Pre-test and post-test were applied, complemented by two rounds of concept map construction separated by a collective feedback session, in which patterns identified in the first round were discussed before the second. Concept map analysis followed a hybrid approach, combining a simple structural indicator (number of related concepts) with qualitative categorical analysis of propositions from a subset of maps. Results indicate improved average post-test performance and a medium normalized gain ($g = 0.344$), together with structural reorganization in the maps produced between the two rounds. Qualitative analysis revealed the emergence of scientifically adequate propositions, alongside the persistence of alternative conceptions among some students even after the intervention. It is argued that the formative function of the research lies specifically in the diagnosis-feedback-new production cycle, rather than in the pre/post-test design, which plays a complementary, descriptive role. Limitations of the hybrid approach adopted are discussed, and directions for methodological refinement of future research on concept-map-based assessment in physics are indicated.

Keywords: Physics education; Concept maps; Formative assessment; Meaningful learning; Higher education.

1. INTRODUÇÃO

O ensino de Física no Brasil, particularmente no ensino superior, tem sido historicamente marcado por práticas pedagógicas centradas na memorização de fórmulas e na resolução algorítmica de exercícios, frequentemente dissociadas da compreensão conceitual dos fenômenos físicos. Em cursos de Engenharia essas limitações tornam-se especialmente evidentes em disciplinas introdutórias, como a Física I, nas quais dificuldades conceituais persistentes comprometem o progresso acadêmico. Análises sobre o ensino de Física no contexto brasileiro evidenciam a consolidação de uma cultura do "ensino para a testagem", que orienta o ensino prioritariamente por exigências avaliativas, em detrimento de processos formativos (Moreira, 2021). Instrumentos avaliativos tradicionais, baseados em testes objetivos ou problemas algorítmicos, captam desempenhos pontuais e oferecem informações limitadas sobre como os estudantes organizam e relacionam conceitos científicos.

A superação desse modelo requer instrumentos capazes de tornar visíveis processos de aprendizagem conceitual e, sobretudo, de devolver essa informação ao ensino antes de seu encerramento: é essa condição de retroalimentação, e não apenas de diagnóstico, que distingue avaliação formativa de avaliação somativa aplicada em múltiplos momentos (Black; Wiliam, 2009). Os mapas conceituais emergem, nesse cenário, como ferramenta potencialmente relevante: fundamentados na Teoria da Aprendizagem Significativa, possibilitam explicitar relações hierárquicas e proposicionais entre conceitos, oferecendo indícios da organização conceitual dos estudantes.

A literatura sobre avaliação por mapas conceituais, no entanto, ainda não articula de forma satisfatória dois avanços metodológicos que,

isoladamente, já estão consolidados. Ruiz-Primo e Shavelson (1996) documentam que a multiplicidade de formatos de tarefa, resposta e pontuação empregados para avaliar mapas conceituais ultrapassou a produção de evidências sobre a confiabilidade e a validade dessas variações, e recomendam investigação sobre o treinamento dos estudantes na técnica, condição raramente relatada em estudos empíricos. No Brasil, essa recomendação foi retomada por um conjunto recente de estudos: Aguiar e Correia (2013) propuseram parâmetros de treinamento em mapeamento conceitual; Correia *et al.* (2014) desenvolveram procedimento para identificar conexões disciplinares a partir da rede proposicional dos mapas; e Conceição e Correia (2020) demonstraram que mapas estruturalmente elaborados podem ser semanticamente superficiais quando não há pergunta focal explícita orientando sua construção. Essa produção, contudo, concentra-se em fundamentos gerais do mapeamento conceitual e em outras áreas do conhecimento, sem dialogar com pesquisas empíricas sobre o ensino superior de Física; e nenhum desses estudos articula explicitamente a construção de mapas conceituais a um ciclo de retroalimentação formativa, no sentido de Black e William (2009), em que os padrões diagnosticados em uma primeira produção são devolvidos aos estudantes antes de uma segunda. Identifica-se, portanto, a seguinte lacuna: a ausência, na literatura nacional sobre ensino de Física no nível superior, de estudos empíricos que utilizem mapas conceituais como eixo de um ciclo formativo explícito, analisado por abordagem que articule indicadores estruturais e qualidade semântica das proposições.

É em resposta a essa lacuna que se formula o problema de pesquisa: em que medida um ciclo de construção de mapas conceituais, intercalado por uma devolutiva pedagógica explícita, permite evidenciar e apoiar a reorganização conceitual de estudantes de

Engenharia no aprendizado do conceito de força, quando essa evidência é obtida por abordagem híbrida que articula indicadores estruturais simples e análise qualitativa das proposições?

O objetivo geral é analisar, a partir dessa abordagem híbrida, de que forma o uso formativo de mapas conceituais, complementado por indicadores quantitativos descritivos, evidencia a evolução conceitual de estudantes de Engenharia sobre o conceito de força. Os objetivos específicos são: (i) descrever a evolução estrutural dos mapas produzidos em dois momentos da intervenção; (ii) caracterizar qualitativamente as proposições, identificando relações cientificamente adequadas e concepções alternativas persistentes; e (iii) discutir em que medida o ciclo diagnóstico-devolutiva-nova produção caracteriza função formativa, distinta da função descritiva do par pré-teste/pós-teste.

Além da lacuna de literatura já indicada, a pesquisa justifica-se pela relevância prática do problema no contexto investigado: a persistência de concepções alternativas sobre força é amplamente documentada mesmo após instrução formal (Driver; Guesne; Tiberghien, 1985; Viennot, 2001), e cursos de Engenharia com estudantes de formação básica heterogênea, como o contexto desta pesquisa, carecem de instrumentos capazes de acompanhar essa evolução conceitual durante o próprio processo de ensino, e não apenas ao seu final.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Aprendizagem Significativa e Mapas Conceituais

O referencial teórico fundamenta-se na Teoria da Aprendizagem Significativa, proposta por Ausubel, e em seus desdobramentos no

uso de mapas conceituais, sistematizados por Novak e colaboradores. Para Ausubel (2003), a aprendizagem significativa ocorre quando novas informações se integram de maneira não arbitrária e não literal à estrutura cognitiva prévia do aprendiz, por meio de conceitos relevantes já existentes, os subsunçores. Nessa perspectiva, a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa, respectivamente a ampliação hierárquica dos conceitos e o estabelecimento de relações coerentes entre eles, são processos centrais e não diretamente observáveis por avaliações tradicionais, o que impõe desafios à análise da aprendizagem conceitual em contextos formais.

Os mapas conceituais, desenvolvidos por Novak e Gowin (1984), representam graficamente a organização hierárquica e relacional do conhecimento, em consonância com esses pressupostos. Compostos por conceitos, geralmente do mais geral ao mais específico, conectados por palavras de ligação que formam proposições com significado lógico, os mapas explicitam relações conceituais estabelecidas pelos estudantes, funcionando como representações externas de estruturas cognitivas internas.

2.2. Avaliação Formativa em Ensino de Física

A distinção entre avaliação formativa e somativa não se reduz ao momento de aplicação de um instrumento, mas à função que essa aplicação cumpre no ensino. Black e Wiliam (2009) caracterizam como formativa a avaliação cujas evidências são efetivamente utilizadas por professores e estudantes para ajustar o ensino às necessidades identificadas, constituindo ciclo de retroalimentação que antecede o encerramento do processo instrucional. Um mesmo instrumento pode cumprir função somativa, se usado apenas para

registrar desempenho, ou formativa, se devolvido sistematicamente aos estudantes para reorientar o ensino subsequente.

Essa distinção é central para a pesquisa. O par pré-teste/pós-teste cumpre aqui função descritiva e comparativa: quantifica a variação de desempenho entre início e fim da sequência didática, mas não constitui, por si só, retroalimentação formativa, já que seus resultados não foram devolvidos individualmente com o propósito de reorientar a aprendizagem específica de cada estudante. A função formativa reside, especificamente, no ciclo de duas construções de mapas conceituais intercaladas por sessão de devolutiva coletiva: após a primeira construção, os padrões estruturais e proposicionais identificados foram discutidos com as turmas, sem revelar desempenhos individuais, com exemplos de proposições mais e menos adequadas cientificamente, antecedendo a segunda construção. Esse ciclo diagnóstico-devolutiva-nova produção corresponde à definição de Black e Wiliam (2009): a evidência da primeira avaliação foi usada para ajustar o ensino antes de um novo momento avaliativo, distinção que evita a confusão, frequente na literatura, entre repetição de instrumentos e efetivo fechamento de um ciclo de retroalimentação.

2.3. Abordagens Estruturais, Semânticas e Híbridas na Análise de Mapas Conceituais

Os mapas conceituais podem ser analisados sob diferentes enfoques: abordagens estruturais concentram-se em número de conceitos, níveis hierárquicos e conexões; abordagens semânticas focalizam a qualidade das proposições. Kinchin, Hay e Adams (2000), a partir de mapas de estudantes do ensino secundário, propuseram tipologia qualitativa com três padrões estruturais: mapas em "roda"

(spoke), com conceitos subordinados conectados diretamente a um conceito central, sem conexões entre si; em "cadeia" (chain), em sequência linear; e em "rede" (net), com múltiplas conexões cruzadas entre níveis hierárquicos, associada pelos autores a níveis mais avançados de integração conceitual. Trata-se, porém, de tipologia interpretativa aplicada a um contexto específico, não de escala de compreensão validada de forma geral, o que recomenda cautela em sua extrapolação direta.

Ruiz-Primo e Shavelson (1996) não afirmam genericamente que métricas quantitativas são insuficientes, mas documentam que a variação de formatos de tarefa, resposta e pontuação empregados na literatura ultrapassou, à época, a produção de evidências sobre confiabilidade e validade dessas variações, recomendando investigação sobre treinamento dos estudantes na técnica de mapeamento conceitual, recomendação diretamente relevante para o procedimento de treinamento adotado na Seção 3.3.

No contexto brasileiro, um conjunto de estudos consolidou protocolos para o treinamento em mapeamento conceitual e para a definição do que Correia e colaboradores denominam "pergunta focal" dos mapas, a questão que orienta a seleção e organização dos conceitos representados. Aguiar e Correia (2013) propõem parâmetros de referência e atividades de treinamento, argumentando que a ausência de treinamento compromete a interpretação de mapas como evidência de compreensão, já que dificuldades técnicas com a notação podem ser confundidas com lacunas conceituais. Correia *et al.* (2014) propõem abordagem para identificar conexões disciplinares a partir da rede proposicional. Conceição e Correia (2020) demonstram que mapas estruturalmente elaborados, sem erros conceituais evidentes,

podem ainda ser superficiais quando a pergunta focal não é claramente definida antes da construção, ponto retomado na Seção 3.5.

Em conjunto, essa literatura indica que abordagens híbridas, articulando indicadores estruturais simples com análise qualitativa das proposições, têm maior coerência com a aprendizagem significativa do que análises exclusivamente estruturais ou semânticas, desde que a simplificação estrutural seja explicitamente justificada e suas limitações, reconhecidas. É essa articulação, com as ressalvas de Aguiar e Correia (2013), Correia *et al.* (2014) e Conceição e Correia (2020), que orienta as escolhas metodológicas a seguir.

3. METODOLOGIA

3.1. Delineamento da Pesquisa

Esta pesquisa configura-se como um estudo de caso instrumental (Stake, 1995; Yin, 2015), com métodos mistos. Nessa estratégia, o objetivo é compreender em profundidade um fenômeno particular, a saber, o uso formativo de mapas conceituais no aprendizado do conceito de força, em seu contexto real, sem pretensão de generalização amostral para populações amplas. A dimensão quantitativa é operacionalizada pelo pré-teste, pelo pós-teste e pelo ganho normalizado de Hake (1998), de natureza descritiva. A dimensão qualitativa-interpretativa é operacionalizada pela análise híbrida estrutural-semântica dos mapas conceituais, descrita na Seção 3.4. A opção por um delineamento não experimental, sem grupo controle, decorre da natureza da intervenção, implementada no âmbito do currículo regular de uma disciplina obrigatória,

condição que impõe limites à generalização causal dos resultados, explicitados na Seção 3.5.

3.2. Contexto e Participantes

O estudo foi realizado com 57 estudantes matriculados na disciplina de Física I de cursos de Engenharia de uma universidade pública estadual brasileira, durante o segundo semestre de 2024. A disciplina possui carga horária de 72 horas semestrais, distribuídas em quatro horas semanais, e aborda conteúdos de Mecânica Clássica, incluindo cinemática, dinâmica e energia.

Para fins de caracterização do contexto, e sem cruzamentos que permitam identificação individual, informa-se que a amostra se distribuiu de forma relativamente equilibrada entre os sexos, com concentração etária predominante entre 18 e 23 anos, e que a maior parte dos estudantes é oriunda de escolas públicas de Ensino Médio, perfil característico do ensino superior público interiorano brasileiro. Optou-se por não reportar a distribuição detalhada por curso, situação de trabalho e local de moradia: a combinação dessas variáveis, em amostra de 57 estudantes de uma única disciplina e semestre, poderia permitir identificação indireta de subgrupos ou indivíduos, incompatível com o compromisso de anonimato assumido no Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). A pesquisa seguiu princípios éticos de pesquisa com seres humanos; todos os participantes assinaram o TCLE, nenhum dado nominal foi coletado, e os registros foram codificados numericamente desde a coleta, com resultados reportados exclusivamente de forma agregada.

3.3. Instrumentos de Coleta de Dados

Foram utilizados três instrumentos principais: pré-teste, mapas conceituais e pós-teste, complementados por um mapa conceitual estruturado de avaliação final.

O pré-teste identificou os conhecimentos prévios sobre o conceito de força, aplicado na primeira semana de aula, com seis questões objetivas e discursivas sobre definição intuitiva de força, exemplos, tipos de força, relação entre massa e aceleração, pares ação-reação e força resultante. O pós-teste, com o mesmo instrumento, foi aplicado duas semanas após a segunda construção dos mapas, com intervalo superior a dez semanas em relação ao pré-teste, reduzindo efeitos de memorização literal das questões.

Os mapas conceituais foram construídos em dois momentos do semestre. Antes da primeira construção, os estudantes receberam instrução explícita sobre a notação de Novak e Gowin (1984), material escrito, tutorial em vídeo sobre o CmapTools e exemplificação em sala de aula de um mapa-modelo sobre forças; o uso do software foi facultativo, mapas manuscritos também foram aceitos. Essa etapa responde à recomendação de Ruiz-Primo e Shavelson (1996) e de Aguiar e Correia (2013) de assegurar proficiência técnica na notação antes de interpretar os mapas como evidência de compreensão conceitual, reduzindo o risco de confundir dificuldade de notação com lacuna conceitual.

A primeira construção ocorreu após três semanas de aulas expositivas sobre força, como atividade extraclasse de 50 minutos, a partir de lista inicial de 12 conceitos, podendo os estudantes incluir outros. Em seguida, realizou-se encontro coletivo, sem exposição de desempenhos individuais, esclarecendo dúvidas sobre mapeamento e sobre as Leis de Newton, com exemplos de mapas bem

estruturados e discussão de proposições adequadas: essa sessão constitui a devolutiva pedagógica que caracteriza a função formativa da pesquisa (Seção 2.2). A segunda construção ocorreu cinco semanas depois, com o mesmo banco de conceitos, permitindo comparação longitudinal.

Como instrumento complementar, foi aplicado ao final um mapa conceitual estruturado com dez posições numeradas substituindo os conceitos originais; os estudantes identificavam individualmente o conceito que completava cada posição, considerando conceitos e palavras de ligação adjacentes. Trata-se de reconhecimento e preenchimento em rede pré-estruturada, não de questões de múltipla escolha isoladas, avaliando habilidade complementar à construção livre.

3.4. Procedimentos de Análise de Dados

Os dados do pré-teste e pós-teste foram tratados por estatística descritiva (médias, desvios-padrão, frequências de acerto por questão), com cálculo do ganho normalizado de Hake (1998). Os escores brutos (0 a 6 pontos) foram convertidos em percentuais do escore máximo antes da fórmula:

$$g = \frac{(\text{pós_teste} - \text{pré_teste})}{(100 - \text{pré_teste})}$$

interpretada segundo Hake (1998): $g < 0,3$, ganho baixo; $0,3 \leq g < 0,7$, ganho médio; $g \geq 0,7$, ganho alto.

Os mapas foram analisados em dois níveis. No nível estrutural, registrou-se o número de conceitos relacionados em cada mapa; esse indicador, reconhecidamente limitado, sinaliza apenas maior

articulação representacional, não maior profundidade ou correção conceitual, distinção estabelecida somente pela análise qualitativa. No nível semântico, foi realizada análise categorial das proposições de um subconjunto de 12 mapas da segunda construção, selecionados intencionalmente nos terços inferior, mediano e superior da distribuição do número de conceitos relacionados; essa seleção intencional, não aleatória, limita a generalização estatística ao conjunto de 24 mapas, e os resultados devem ser lidos como ilustrativos do subconjunto, não representativos da turma.

As proposições foram classificadas por um avaliador em três categorias, inspiradas em Ruiz-Primo e Shavelson (1996) e Kinchin, Hay e Adams (2000): (i) cientificamente adequadas, com relação causal ou funcional compatível com o modelo newtoniano; (ii) parcialmente adequadas ou ambíguas, que reconhecem vínculo conceitual sem explicitar sua natureza; e (iii) associadas a concepções alternativas recorrentes no ensino de Mecânica. Proposições não classificáveis nas três categorias seriam registradas separadamente; nenhuma ocorrência desse tipo foi identificada no subconjunto. A categorização por avaliador único, sem cálculo de confiabilidade interavaliadores nesta etapa, é discutida como limitação na Seção 3.5.

A análise do mapa conceitual estruturado de avaliação final foi realizada por meio do cálculo de percentuais de acerto por posição, permitindo identificar os conceitos e as relações mais e menos bem compreendidos pelos estudantes ao final da sequência didática.

A triangulação entre dados quantitativos (pré-teste, pós-teste, ganho normalizado e mapa estruturado de avaliação) e qualitativos (análise categorial das proposições) permitiu interpretação mais

abrangente dos processos de aprendizagem, superando, sem eliminar por completo, as limitações do uso isolado de cada tipo de dado.

3.5. Limitações Metodológicas

O delineamento apresenta limitações a explicitar. A ausência de grupo controle impede afirmações causais sobre a efetividade da intervenção, já que a melhoria observada pode resultar de múltiplos fatores (ensino regular, maturação dos estudantes, efeitos de testagem); o uso do mesmo instrumento no pré e no pós-teste, embora justificado pelo intervalo superior a dez semanas, não elimina completamente efeitos de familiarização. O indicador estrutural (número de conceitos relacionados) não captura plenamente a qualidade das proposições nem a adequação da hierarquização conceitual, limitação parcialmente mitigada, mas não eliminada, pela análise qualitativa de um subconjunto intencional, não probabilístico, de mapas; essa categorização foi realizada por um único avaliador, sem cálculo de confiabilidade interavaliadores, reduzindo sua robustez frente a protocolos com múltiplos juízes independentes.

Os estudantes não receberam, antes da primeira construção, uma pergunta focal explícita orientando a seleção dos conceitos, apenas a lista inicial de 12 conceitos. Conforme Conceição e Correia (2020), essa ausência pode favorecer mapas estruturalmente elaborados, mas semanticamente superficiais, limitação relevante para a interpretação do indicador estrutural e recomendação central para pesquisas futuras. Por fim, o recorte a uma única instituição, com perfil discente relativamente homogêneo e um único semestre, limita a generalização: as conclusões aplicam-se ao contexto

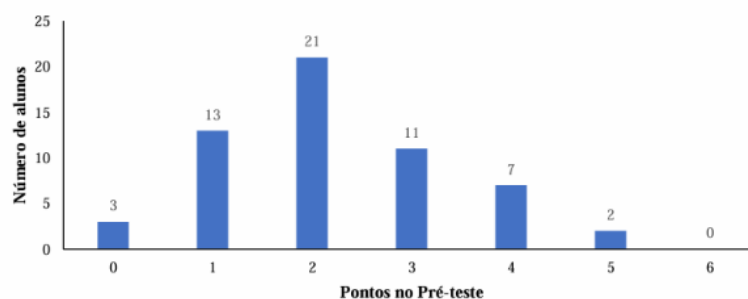
investigado, não podendo ser automaticamente estendidas a outros contextos institucionais, níveis de ensino ou áreas do conhecimento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Desempenho no Pré-Teste

O pré-teste revelou desempenho inicial baixo, com média de 2,21 pontos em 6 possíveis (36,8% de aproveitamento), desvio-padrão de 1,19 e mediana igual a 2 (Gráfico 1); a leve assimetria positiva (média ligeiramente acima da mediana) indica concentração de notas abaixo da média, com alguns valores mais altos. As maiores dificuldades concentraram-se em questões de compreensão conceitual mais elaborada: a definição intuitiva de força gerou respostas vagas, frequentemente associadas a esforço muscular ou movimento; a distinção entre peso e massa teve apenas 19% de acertos; e a questão sobre força de atrito, 35%.

Gráfico 1. Distribuição de acertos dos estudantes no pré-teste (N = 57)



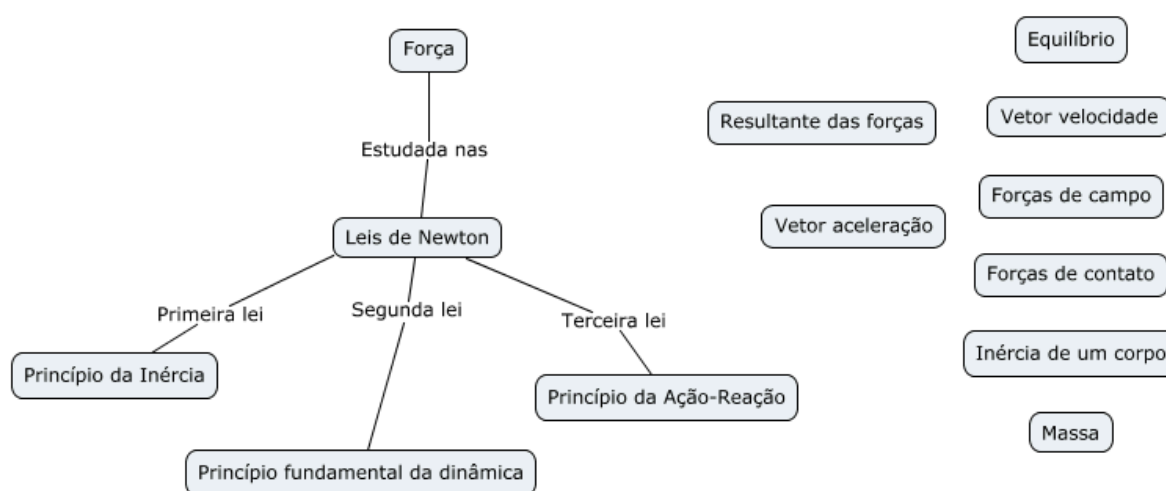
Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

4.2. Primeira Construção de Mapas Conceituais

Na primeira construção, os 57 estudantes, em duplas ou trios, produziram 24 mapas. O número médio de conceitos relacionados foi 6,54 (desvio-padrão 1,76), com 84,2% dos estudantes relacionando entre 4 e 8 conceitos. A leitura qualitativa preliminar, exploratória e não sistematizada nesta etapa, evidenciou predominância de estruturas lineares ou pouco ramificadas, aproximando-se do padrão que Kinchin, Hay e Adams (2000) descrevem como cadeia, com proposições frequentemente incompletas ou imprecisas do ponto de vista científico, como ilustra o exemplo da Figura 1.

Figura 1. Exemplo de mapa conceitual produzido na primeira construção, com estrutura predominantemente linear (baixa complexidade estrutural)



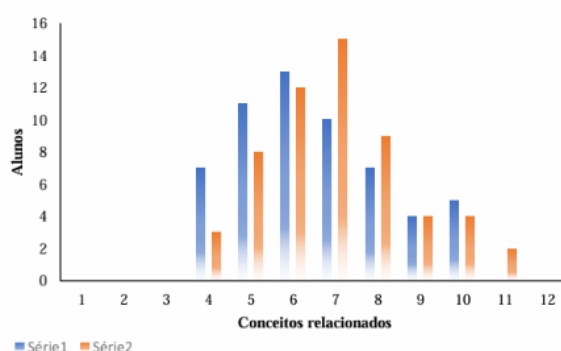
Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

Em seguida, realizou-se o encontro de devolutiva descrito na Seção 3.3, esclarecendo dúvidas sobre mapeamento conceitual e sobre as Leis de Newton, com exemplos de mapas bem estruturados e discussão de proposições cientificamente adequadas.

4.3. Segunda Construção de Mapas Conceituais

Os mapas da segunda construção indicaram melhoria estrutural: a média de conceitos relacionados subiu para 7,00 (desvio-padrão 1,70), com distribuição mais concentrada e menos estudantes nos extremos (Gráfico 2), sugerindo efeito mensurável da devolutiva, embora, como discutido na Seção 3.4, o indicador estrutural não permita, isoladamente, inferir a qualidade das conexões.

Gráfico 2. Número de conceitos relacionados pelos estudantes na primeira e na segunda construção de mapas conceituais



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

A leitura qualitativa preliminar evidenciou maior presença de estruturas hierarquizadas, aproximando-se do padrão que Kinchin, Hay e Adams (2000) associam a níveis mais avançados de integração conceitual, com proposições em geral mais precisas. Os conceitos "força" e "aceleração" foram recorrentes em 75,4% dos registros de conceitos-âncora das duas etapas somadas, compatível com a aquisição dos subsunçores necessários à aprendizagem das Leis de Newton, ainda que essa frequência não permita, por si só, inferir a adequação das relações em que tais conceitos estão inseridos.

4.4. Análise Qualitativa Categorical das Proposições

A análise qualitativa categorial, descrita na Seção 3.4, foi realizada em 12 mapas conceituais produzidos na segunda etapa,

selecionados intencionalmente para contemplar diferentes níveis de complexidade estrutural. No conjunto analisado, identificaram-se padrões recorrentes nas proposições construídas pelos estudantes, sintetizados na Tabela 1.

Foram observadas proposições que expressam relações conceituais compatíveis com o modelo newtoniano, como "força resultante é proporcional à aceleração" e "a aceleração depende da força resultante e da massa", indicando compreensão funcional da Segunda Lei de Newton (Figura 2); essas proposições estiveram mais presentes em mapas com maior número de ligações cruzadas. Parte das proposições apresentou formulações semanticamente imprecisas, como "força está relacionada ao movimento", que, embora sugiram reconhecimento de vínculo conceitual, não explicitam a natureza causal dessa relação. Persistiram, ainda, proposições que associam força à manutenção do movimento, como "força mantém o corpo em movimento", evidenciando concepções alternativas amplamente documentadas na literatura (Driver; Guesne; Tiberghien, 1985; Viennot, 2001); essas proposições ocorreram predominantemente em mapas com estrutura linear e menor diversidade conceitual.

Tabela 1. Síntese qualitativa das categorias proposicionais identificadas no subconjunto analisado (n = 12 mapas, segunda construção)

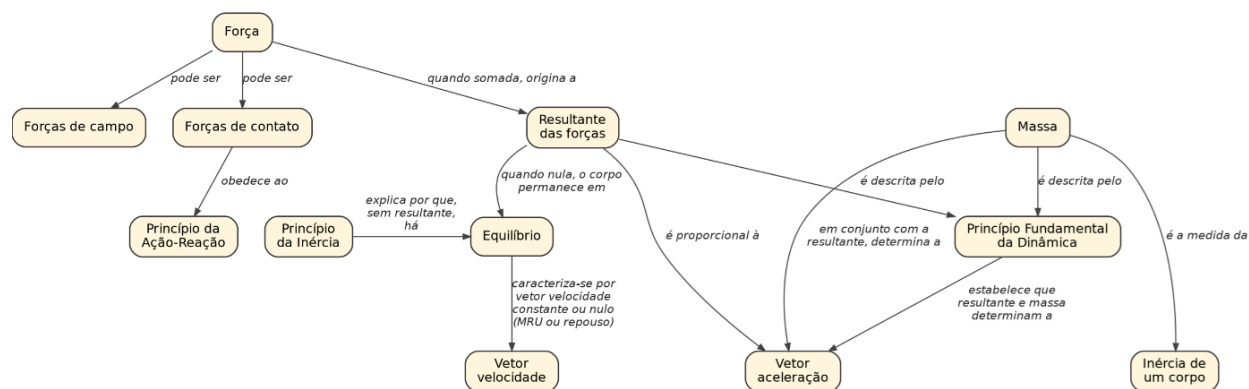
Categoria analítica	Características das proposições	Exemplos representativos extraídos dos mapas
Proposições cientificamente adequadas	Relações conceituais semanticamente coerentes com o modelo newtoniano,	"Força resultante é proporcional à aceleração"; "A

	explicitando vínculos causais ou funcionais entre grandezas físicas. Uso de palavras de ligação que indicam dependência, proporcionalidade ou causalidade.	aceleração depende da força resultante e da massa”; “Sem força resultante, o corpo permanece em MRU ou repouso”.
Proposições parcialmente adequadas ou ambíguas	Relações conceituais reconhecíveis, porém formuladas de maneira genérica ou imprecisa, sem explicitar claramente a natureza da relação física envolvida. Indicam compreensão em processo de consolidação.	“Força está relacionada ao movimento”; “A força influencia a velocidade”; “Movimento tem relação com força”.
Proposições associadas a concepções alternativas	Relações conceituais incompatíveis com o modelo científico aceito, frequentemente associando força à manutenção do movimento ou confundindo estados de movimento com presença de força resultante.	“Força mantém o corpo em movimento”; “Quanto maior a velocidade, maior a força”; “Objeto em movimento precisa de força”.

Nota: categorização de caráter qualitativo e interpretativo, realizada por um único avaliador (Seção 3.4), aplicada a um subconjunto intencionalmente selecionado de 12 mapas, sem pretensão de generalização estatística ao conjunto de 24 mapas produzidos na segunda construção.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

Figura 2. Exemplo de mapa conceitual da segunda construção contendo proposição classificada como cientificamente adequada



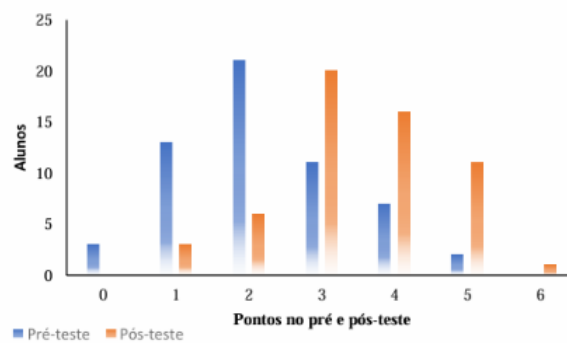
Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

A Tabela 1 evidencia que a evolução estrutural dos mapas conceituais esteve associada, no subconjunto analisado, à emergência de proposições cientificamente adequadas, mas também à persistência de concepções alternativas. Caso apenas o indicador estrutural fosse considerado, essa persistência poderia passar despercebida, conduzindo a interpretações excessivamente otimistas sobre a aprendizagem alcançada, o que reforça, no plano empírico, a recomendação de Ruiz-Primo e Shavelson (1996) quanto à necessidade de complementar indicadores estruturais com evidência sobre a qualidade semântica das proposições.

4.5. Desempenho no Pós-Teste e Ganho Normalizado de Aprendizagem

O pós-teste revelou melhoria no desempenho dos estudantes. A média de acertos foi de 3,51 pontos em 6 possíveis, correspondendo a 58,5% de aproveitamento, incremento de 21,7 pontos percentuais em relação ao pré-teste (Gráfico 3). O desvio-padrão de 1,13, ligeiramente inferior ao do pré-teste (1,19), sugere notas um pouco menos dispersas. A mediana aumentou de 2 para 3. O número de estudantes com pontuações baixas (0 a 2 pontos) reduziu-se de 37 para 9, enquanto as pontuações intermediárias e altas (3 a 6 pontos) aumentaram de 20 para 48 estudantes.

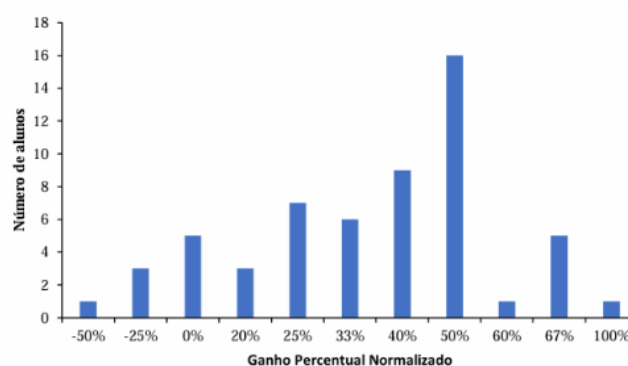
Gráfico 3. Comparação de acertos no pré-teste e no pós-teste (N = 57)



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

O ganho normalizado médio, calculado conforme a Seção 3.4, resultou em $g = 0,344$, ganho médio ($0,3 \leq g < 0,7$): os estudantes alcançaram, em média, 34,4% do ganho máximo possível considerando seus desempenhos iniciais. A distribuição individual revela heterogeneidade (Gráfico 4): cerca de 38 estudantes (66,7%) tiveram ganho $\geq 0,30$; 15 (26,3%), ganho abaixo desse limiar; e 4 (7%), ganho negativo (pós-teste inferior ao pré-teste).

Gráfico 4. Distribuição do ganho normalizado individual (Hake, 1998)



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

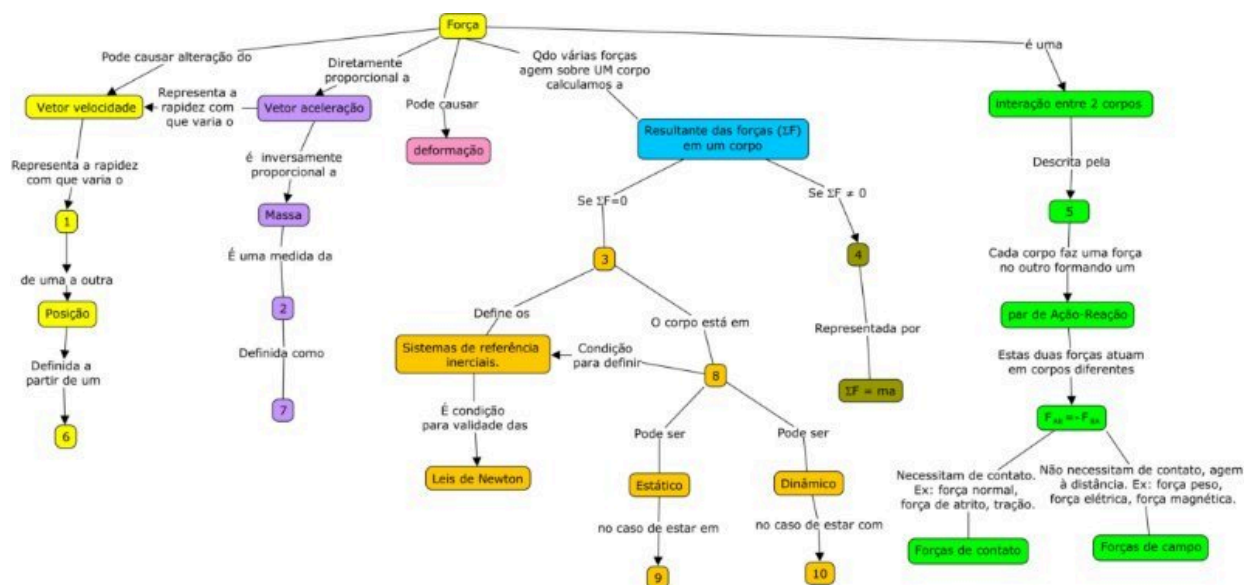
Como discutido na Seção 2.2, esse conjunto descreve tendência global de melhora no desempenho, mas não constitui, isoladamente, evidência da natureza da reorganização conceitual

em curso; essa evidência é buscada, de forma complementar, na análise dos mapas.

4.6. Avaliação por Mapa Conceitual Estruturado

O mapa estruturado com dez posições numeradas (Seção 3.3; Figura 3) avaliou a compreensão sobre relações proposicionais em rede pré-estabelecida. As posições ligadas diretamente às Leis de Newton e ao conceito de referencial tiveram os maiores percentuais de acerto (75% a 93%), indicando compreensão consolidada da dinâmica newtoniana. As posições que exigiam articulação entre dinâmica e descrição cinemática dos estados de movimento tiveram percentuais menores: 61% (tendência de permanecer em repouso ou MRU, expressão da inércia), 65% (movimento acelerado) e 74% (velocidade constante), apontando dificuldade persistente de parcela dos estudantes em articular esses conceitos ao arcabouço newtoniano, mesmo após a intervenção completa.

Figura 3. Mapa conceitual estruturado com posições numeradas, utilizado como instrumento de avaliação final



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

4.7. Discussão Integrativa

Os resultados, tomados em conjunto, permitem interpretação que vai além do que qualquer instrumento isolado ofereceria. O ganho normalizado médio deve ser lido com cautela: por si só, sinaliza apenas tendência global de melhora, sem indicar a natureza da reorganização conceitual. A análise estrutural dos mapas evidenciou aumento no número de conceitos relacionados e nas conexões entre a primeira e a segunda construção, padrão compatível com diferenciação progressiva (Ausubel, 2003); a análise qualitativa categorial, porém, mostra que essa reorganização não foi homogênea: ao lado de proposições cientificamente adequadas, persistiram concepções alternativas, sobretudo a associação entre força e manutenção do movimento, resultado coerente com os achados clássicos de Driver, Guesne e Tiberghien (1985) e Viennot (2001) sobre a robustez dessas concepções mesmo após instrução formal.

A convergência entre essa persistência na análise qualitativa e o menor desempenho nas posições do mapa estruturado que exigem articulação dinâmica-cinemática (Seção 4.6) é evidência integrativa relevante: dois instrumentos independentes, um qualitativo e um quantitativo, apontam a mesma lacuna, o que fortalece sua validade interpretativa como achado da pesquisa, e não como artefato de um único instrumento.

Do ponto de vista da avaliação formativa (Seção 2.2), os resultados sugerem que o ciclo diagnóstico-devolutiva-nova produção, e não o par pré-teste/pós-teste, foi o elemento que efetivamente permitiu ao ensino se ajustar antes de seu encerramento. A melhora estrutural entre as duas construções é compatível com esse ajuste, mas a

persistência de concepções alternativas indica que uma devolutiva coletiva única não bastou para todos os estudantes, apontando a necessidade de retroalimentação mais individualizada em iterações futuras. Os resultados não autorizam generalizações amplas: o estudo se restringe a uma disciplina, um conceito e um contexto institucional específicos, com análise qualitativa em subconjunto intencional e sem confiabilidade interavaliadores nessa etapa. Ainda assim, contribuem para o debate sobre o uso formativo de mapas conceituais no ensino superior de Física por meio de abordagens híbridas que explicitam tanto seu potencial quanto seus limites interpretativos.

5. CONCLUSÃO

Este estudo investigou o uso de mapas conceituais como instrumento de avaliação formativa no ensino superior de Física, com foco no conceito de força em estudantes de Engenharia. A resposta ao problema de pesquisa é afirmativa, com as qualificações que seguem.

O ciclo composto pela primeira construção, pela devolutiva coletiva e pela segunda construção evidenciou reorganização estrutural mensurável, com aumento médio no número de conceitos relacionados e maior presença de estruturas hierarquizadas. A análise qualitativa categorial revelou emergência de proposições cientificamente adequadas, compatíveis com a Segunda Lei de Newton, ao lado da persistência de concepções alternativas bem documentadas na literatura, sobretudo a associação entre força e manutenção do movimento. O par pré-teste/pós-teste indicou ganho normalizado médio de 0,344 (médio), e o mapa estruturado

de avaliação final confirmou, de forma convergente, dificuldade persistente na articulação entre dinâmica e cinemática.

A contribuição central deste estudo está menos na demonstração de eficácia ampla dos mapas conceituais e mais em duas distinções metodológicas relevantes para pesquisas futuras: entre função formativa (que depende de um ciclo efetivo de retroalimentação entre diagnóstico e ensino subsequente) e função meramente descritiva ou somativa; e a necessidade de articular indicadores estruturais simples com análise qualitativa das proposições, com limitações de cada abordagem explicitadas, em diálogo com a literatura brasileira sobre treinamento em mapeamento conceitual e pergunta focal (Aguiar; Correia, 2013; Correia *et al.*, 2014; Conceição; Correia, 2020).

Reconhecem-se como limitações o recorte ao tema força, o contexto institucional específico, a ausência de grupo controle, a seleção intencional do subconjunto qualitativo, a ausência de confiabilidade interavaliadores nessa etapa e a ausência de pergunta focal explícita na construção dos mapas. Estudos futuros podem ampliar a abordagem a outros conceitos da Física, incorporar múltiplos juízes na análise categorial, testar o efeito de uma pergunta focal explícita sobre a qualidade semântica dos mapas, e explorar sistematicamente devolutivas individualizadas na regulação do ensino e da aprendizagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, Joana Guilares de; CORREIA, Paulo Rogério Miranda. Como fazer bons mapas conceituais? Estabelecendo parâmetros de referências e propondo atividades de treinamento. Revista Brasileira

de Pesquisa em Educação em Ciências, v. 13, n. 2, p. 141-157, 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4265>. Acesso em: 9 jul. 2026.

AUSUBEL, David Paul. Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Plátano, 2003.

BLACK, Paul; WILIAM, Dylan. Developing the theory of formative assessment. Educational Assessment, Evaluation and Accountability, v. 21, n. 1, p. 5-31, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11092-008-9068-5>. Acesso em: 9 jul. 2026.

CONCEIÇÃO, Adriano Nascimento; CORREIA, Paulo Rogério Miranda. Por que definir a pergunta focal dos mapas conceituais é importante? A identificação de mapas superficiais sem erros conceituais. Investigações em Ensino de Ciências, v. 25, n. 3, p. 471-486, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2020v25n3p471>. Acesso em: 9 jul. 2026.

CORREIA, Paulo Rogério Miranda; CORDEIRO, Gislaine Banchetti; CICUTO, Camila Aparecida Tolentino; JUNQUEIRA, Patrícia Grandino. Nova abordagem para identificar conexões disciplinares usando mapas conceituais: em busca da interdisciplinaridade no ensino superior. Ciência & Educação, v. 20, n. 2, p. 467-479, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1516-73132014000200013>. Acesso em: 9 jul. 2026.

DRIVER, Rosalind; GUESNE, Edith; TIBERGHEN, Andrée. Children's ideas in science. Milton Keynes: Open University Press, 1985.

HAKE, Richard R. Interactive-engagement versus traditional methods: a six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. American Journal of Physics, v. 66, n. 1, p. 64-74, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1119/1.18809>. Acesso em: 9 jul. 2026.

KINCHIN, Ian M.; HAY, David B.; ADAMS, Alan. How a qualitative approach to concept map analysis can be used to aid learning by illustrating patterns of conceptual development. Educational Research, v. 42, n. 1, p. 43-57, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/001318800363908>. Acesso em: 9 jul. 2026.

MOREIRA, Marco Antonio. Desafios no ensino da Física. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 43, e20200451, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0451>. Acesso em: 9 jul. 2026.

NOVAK, Joseph D.; GOWIN, D. Bob. Aprender a aprender. Lisboa: Plátano, 1984.

RUIZ-PRIMO, Maria Araceli; SHAVELSON, Richard J. Problems and issues in the use of concept maps in science assessment. Journal of Research in Science Teaching, v. 33, n. 6, p. 569-600, 1996. Disponível em: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199608\)33:6<569::AID-TEA1>3.0.CO;2-M](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199608)33:6<569::AID-TEA1>3.0.CO;2-M). Acesso em: 9 jul. 2026.

STAKE, Robert E. The art of case study research. Thousand Oaks: Sage, 1995.

VIENNOT, Laurence. Reasoning in physics: the part of common sense. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001.

YIN, Robert K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

¹ Mestre em Física Aplicada à Medicina e Biologia. Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG). João Monlevade, Minas Gerais, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

² Doutora em Educação Matemática. Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG). João Monlevade, Minas Gerais, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

³ Graduanda em Engenharia de Minas. Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG). João Monlevade, Minas Gerais, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)