

“A META: UM PROCESSO DE MELHORIA CONTÍNUA” E A APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR EM PESQUISA OPERACIONAL

Gabriela Daiana Christ

Doutoranda em Desenvolvimento Regional e Agronegócio (UNIOESTE Campus Toledo)

Professora do Curso de Administração na

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE Campus Mal. C. Rondon)

E-mail: gabriela.christ@unioeste.br

Eliana Cunico

Doutora em Administração (UEM)

Professora do Curso de Administração na

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE Campus Mal. C. Rondon)

E-mail: eliana.cunico@unioeste.br

RESUMO: O objetivo deste artigo está em avaliar a aplicabilidade de uma questão objetiva da prova de Administração do ENADE, utilizando a Programação Linear e a Teoria das Restrições, a partir da implementação prática no MS Excel com o suplemento OpenSolver. A abordagem desta pesquisa é quantitativa e explicativa e se utiliza de pesquisa bibliográfica e documental para coleta de dados. Como principais resultados, argumenta-se que a eficácia do método reside na articulação da precisão técnica da Programação Linear com a capacidade de análise gerencial para construir modelos transparentes, mitigar falhas humanas e influências políticas, e garantir que a tomada de decisão seja fundamentada tanto na lógica matemática quanto no conhecimento organizacional e no diálogo entre as partes interessadas.

Palavras-chave: Simplex, Pesquisa Operacional, Enade, Métodos Quantitativos.

1 INTRODUÇÃO

“Um problema que não tem solução está resolvido sob o ponto de vista matemático. Se o problema tem apenas uma solução, basta encontrá-la. Mas se o problema tem muitas soluções, precisamos de alguma regra que oriente a escolha de uma delas. É o caso dos problemas que envolvem modelos em programação linear.”
(Silva, 2017, p. 4)

A crescente complexidade dos processos produtivos e a necessidade de otimização dos recursos organizacionais têm intensificado o uso de ferramentas quantitativas na gestão administrativa. Em um ambiente competitivo e dinâmico, as organizações enfrentam desafios constantes relacionados à alocação eficiente de recursos, redução de custos e aumento da produtividade. Nesse contexto, a Programação Linear (PL) emerge como uma metodologia fundamental para o apoio à tomada de decisão, permitindo modelar problemas reais e encontrar soluções ótimas que considerem múltiplas restrições (Lachtermacher, 2016; Silva, 2017).

No âmbito do ensino de Administração, a utilização da PL representa uma oportunidade de desenvolver competências analíticas e estratégicas, especialmente quando aplicada a situações-problema que simulam contextos empresariais reais. Muitas das decisões precisam ser avaliadas, de modo a transformar simples dados em um problema e organizá-los

segundo regras formais de um modelo matemático. A esse processo atribui-se o termo de modelagem (MOREIRA, 2008).

Essa abordagem é reforçada por instrumentos computacionais como o MS Excel, que, aliado ao suplemento OpenSolver, amplia as possibilidades de análise e resolução de modelos matemáticos de otimização de forma prática e acessível aos estudantes. Além disso, a aplicação integrada da Teoria das Restrições (TOC), proposta por Goldratt (2002), complementa a análise ao direcionar o foco da decisão gerencial para os gargalos do sistema produtivo, promovendo um processo contínuo de melhoria.

A relevância deste estudo reside na articulação entre ferramentas quantitativas e conceituais que contribuem para o desenvolvimento de uma visão sistêmica e crítica da gestão. A proposta de resolver e contextualizar uma questão objetiva da prova de Administração do Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes – ENADE (INEP, 2022), utilizando a base da Programação Linear por meio do MS Excel (e o suplemento OpenSolver) e a Teoria das Restrições (Goldratt, 2002), permite aproximar o conteúdo teórico da prática profissional, reforçando o papel do raciocínio lógico e da modelagem na formação do administrador.

A questão de pesquisa que orienta este trabalho é: **como a aplicação conjunta da Programação Linear e da Teoria das Restrições pode contribuir para a resolução e interpretação de problemas gerenciais propostos em avaliações de desempenho acadêmico, tais como o ENADE?**

O objetivo deste estudo é avaliar a aplicabilidade de uma questão objetiva da prova de Administração do ENADE, utilizando a Programação Linear e a Teoria das Restrições, a partir da implementação prática no MS Excel com o suplemento OpenSolver. A partir dessa proposta, busca-se evidenciar o potencial das ferramentas de otimização na formação analítica do administrador e no desenvolvimento de competências voltadas à solução de problemas complexos.

Do ponto de vista teórico, o trabalho busca preencher a lacuna existente na integração entre o ensino de métodos quantitativos (notadamente pesquisa operacional se insere neste contexto) e o desenvolvimento de habilidades gerenciais orientadas à tomada de decisão sob restrições. Ao propor uma abordagem prática e interdisciplinar, a pesquisa contribui para o fortalecimento da relação entre teoria e aplicação, especialmente no contexto do ensino superior em Administração.

Este trabalho está estruturado da seguinte forma: além desta introdução, a segunda seção apresenta os fundamentos teóricos sobre a Programação Linear e a Teoria das Restrições. Na terceira seção, descreve-se os procedimentos metodológicos adotados para a responder a questão de pesquisa que norteia esse estudo. A quarta seção apresenta e discute os resultados obtidos, e, por fim, a quinta seção traz as considerações finais, destacando as contribuições e limitações do estudo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A META: UM PROCESSO DE MELHORIA CONTÍNUA

A obra “A Meta: um processo de melhoria contínua” (*The goal: o process of ongoing improvement*), de Eliyahu M. Goldratt (2002), constitui uma das principais referências na área de ciência industrial e educação em gestão, ao apresentar os fundamentos da Teoria das Restrições (TOC) por meio de uma narrativa envolvente e didática. A história é conduzida pelo gerente de fábrica Alex Rogo, que enfrenta o desafio de evitar o fechamento de sua unidade produtiva. Ao longo da trama, Rogo redefine métricas fundamentais de desempenho e adota uma nova filosofia operacional orientada à melhoria contínua. Com o apoio de seu

mentor Jonah, o protagonista é introduzido aos conceitos de eventos dependentes e flutuações estatísticas, ilustrados por meio da famosa analogia da tropa de escoteiros – uma metáfora que demonstra como gargalos em um sistema produtivo afetam o desempenho global. A aplicação prática desses princípios permite a Rogo identificar e gerenciar restrições no processo produtivo, promovendo ganhos de rendimento, redução de inventários e diminuição de despesas operacionais. Ao final, o sucesso obtido simboliza não apenas a recuperação da fábrica, mas também a validação dos pressupostos teóricos da Teoria das Restrições como ferramenta estratégica para a gestão de operações.

A Teoria das Restrições (TOC) é um método de gestão empresarial desenvolvido por Eliyahu M. Goldratt na década de 1980, fundamentado na premissa de que todo sistema possui pelo menos uma restrição que limita seu desempenho global. Em vez de buscar melhorias isoladas em diferentes partes da organização, a TOC propõe que o foco gerencial seja direcionado à identificação e ao aprimoramento do ponto restritivo, uma vez que qualquer mudança realizada nesse ponto específico impactará diretamente o sistema como um todo. Assim, a TOC parte do princípio de que sistemas complexos são, na verdade, mais simples de gerir quando as restrições são corretamente identificadas e administradas (Goldratt, 2002).

Na prática, Atamtürk (2002) atribuiu ao uso da programação linear, a elaboração de um modelo matemático de otimização para abstrair variáveis oriundas da situação real, expostas a restrições, sob a qual o gestor precisa decidir. Moreira (2008) atribui à pesquisa operacional e a análise combinatória, a tarefa de otimizar os processos produtivos e gerenciais para um melhor aproveitamento de recursos e, consequentemente, favorecer a diminuição de custos. A PL é uma programação matemática em que a função-objetivo e as restrições assumem características lineares, aplicadas a problemas de utilização dos recursos disponíveis, buscando otimizá-los (Moreira, 2008), mesmo havendo restrições impostas internamente ou pelo mercado.

Segundo Goldratt (2002), a avaliação do desempenho organizacional deve ser orientada por três indicadores fundamentais: ganho, inventário e despesa operacional. O ganho representa a taxa na qual o sistema gera dinheiro por meio das vendas – ou seja, a entrada efetiva de recursos financeiros; produzir sem vender não constitui ganho. O inventário corresponde a todo o dinheiro que a organização investe na compra de insumos e produtos destinados à venda, representando o capital que está momentaneamente imobilizado no sistema. Já a despesa operacional engloba todo o dinheiro gasto para transformar o inventário em ganho, ou seja, os custos necessários para que o processo produtivo ocorra e o produto final seja disponibilizado ao mercado. Veja a Figura 1.

Figura 1. Ganho, Inventário e Despesa Operacional

Ganho: • é a taxa na qual o sistema gera dinheiro através das vendas. (se você produzir algo, mas não vender, não é um ganho) • Dinheiro entrando
Inventário: • é todo o dinheiro que o sistema investiu na compra de coisas que tem a intenção de vender. • Dinheiro que está no sistema
Despesa operacional: • é todo dinheiro que o sistema gasta para transformar inventário em ganho. • Dinheiro que pagamos para criar o ganho

Fonte: elaborado pelas autoras (2025) a partir de Goldratt (2002).

Isto é, esses três indicadores (Figura 1) formam a base do raciocínio econômico da TOC, permitindo avaliar o impacto das decisões sobre a lucratividade e a eficiência do sistema produtivo. A partir dessa lógica, o gestor passa a enxergar a empresa como um conjunto interdependente de processos, no qual a melhoria de desempenho depende do equilíbrio entre restrições, recursos e resultados financeiros.

Dentro da lógica proposta por Goldratt (2002), o conceito de recurso gargalo é fundamental para a compreensão e aplicação da Teoria das Restrições. Um recurso gargalo é aquele cuja capacidade produtiva é igual ou inferior à demanda imposta a ele, tornando-se, portanto, o elemento que limita o desempenho global do sistema. Em outras palavras, o gargalo determina o ritmo de produção da empresa, de modo que nenhuma parte do sistema pode operar de forma sustentável acima da capacidade desse ponto restritivo.

É importante destacar que o conceito de gargalo não tem como objetivo principal a redução da despesa operacional, mas sim o aumento do ganho, isto é, da taxa em que o sistema gera dinheiro por meio das vendas. Nessa perspectiva, Goldratt estabelece uma escala de importância entre os três indicadores de desempenho da TOC: o ganho ocupa a posição de maior relevância, seguido pelo inventário, em razão de seu impacto direto sobre o fluxo de caixa e a eficiência do sistema, e, por fim, pela despesa operacional. Essa hierarquia evidencia a transição do chamado “mundo dos custos” para o mundo dos ganhos, na medida em que o foco gerencial se desloca do controle de gastos isolados para a maximização do fluxo de valor gerado pelo sistema como um todo (Goldratt, 2002, p. 310).

De acordo com Goldbarg e Luna (2005) são três os principais passos a serem seguidos para a utilização da programação linear na resolução de um problema: (1) definição das variáveis de decisão; (2) definição da função objetivo e (3) definição das restrições do sistema em questão. Na prática, as principais aplicações da PL buscam maximizar lucros ou minimizar custos, demonstrados por meio de um função-objetivo. Assim, um objetivo ou mais podem ser definidos em função do atendimento de critérios demandados pelo mercado, respeitando a condição de limitação dos recursos, a fim de que o desempenho possa ser otimizado.

É necessário também que se defina quais as atividades que consomem recursos e em que proporções os mesmos são consumidos, sendo que esses são denominados como "Restrições do Modelo". Esses podem ser obtidos a partir de estudos de tempos unitários e da formação de fichas de consumo. Ao enquadrar um problema em um modelo de Programação

Linear, Moreira (2008) ressalta que é necessário distinguir quais são as variáveis fora do controle com parâmetros já fixados e quais são as variáveis de decisão que se deseja conhecer.

Seja com o propósito de maximização ou de minimização, a PL considera m restrições e n incógnitas, sendo essas as variáveis de decisão, expostas na função objetivo, em que X_1 , X_2 e X_n representam as variáveis que serão consideradas em cada caso:

Otimizar $c_1X_1 + c_2X_2 + \dots c_nX_n$

Por sua vez as restrições podem ser escritas como:

Sujeito a:

$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots a_{1n}X_n \leq \text{ou} \geq = b_1$

$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots a_{2n}X_n \leq \text{ou} \geq = b_2$

... quantas restrições houverem devem ser inseridas na sequência.

$X_1 \geq 0$, ... $X_n \geq 0$, garantem a restrição de não haver negatividade.

Na prática, a importância dessa técnica é atribuída a estudos que demonstrem contribuições para otimizar resultados (Atamtürk, 2002). Dentre as muitas possibilidades de aplicação para a função de produção, estão a identificação de alternativas para minimizar a perda de matéria-prima, maximizar o lucro diante de restrições de capacidade produtiva, planejar rotas logísticas, definir o mix de produtos mais lucrativo, delimitar escolhas quanto ao orçamento de capital, resolver limitações de espaço físico para armazenagem. A fim de maximizar o desempenho desses e de outros desafios empíricos, o uso de ferramentas e tecnologias que aplicam lógicas de programação linear são constantemente aprimorados.

O gargalo, portanto, equivale à restrição – seja ela física, como um equipamento ou processo produtivo com capacidade limitada, ou externa, como a própria demanda de mercado ou o sistema de liberação de materiais. Goldratt também reconhece que as restrições podem assumir naturezas políticas, manifestando-se em regras, políticas internas ou procedimentos criados em contextos passados e mantidos mesmo quando as condições que os justificavam já deixaram de existir. Tais restrições de política, quando não revisadas, podem limitar significativamente o desempenho organizacional.

Outro aspecto relevante abordado por Goldratt é o perigo da inércia organizacional, entendida como a tendência das empresas a manterem seus processos e decisões inalterados após a resolução de uma restrição. A inércia atua, portanto, como uma nova limitação – um obstáculo que impede o avanço contínuo e a busca pela melhoria permanente. Assim, a Teoria das Restrições propõe uma abordagem dinâmica e cíclica, na qual a identificação, exploração e elevação das restrições devem ser acompanhadas de uma vigilância constante contra a inércia, garantindo que o sistema permaneça em evolução contínua.

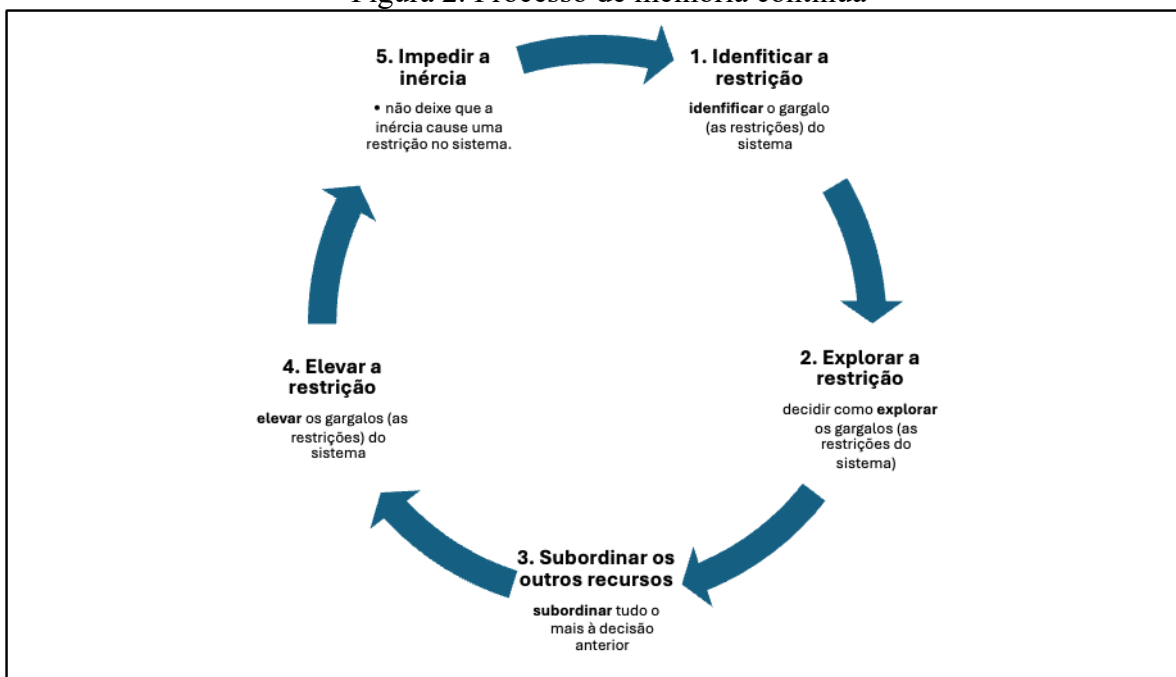
A covariância, entendido como o impacto que uma variável exerce sobre outras dentro de um mesmo sistema interdependente (Goldratt, 2002). Em termos simples, a covariância descreve a dependência linear entre duas ou mais variáveis, de modo que uma alteração em determinado ponto do processo tende a provocar variações correspondentes nos demais. Essa relação é particularmente evidente em sistemas produtivos compostos por múltiplos estágios, nos quais as flutuações de desempenho em uma etapa se propagam ao longo da cadeia, afetando o resultado global.

Para o autor: “quando os departamentos se atrasam e o estoque em processo começa a aumentar, mudamos algumas pessoas de lugar, fazemos horas extras, os produtos são expedidos e, lentamente, os inventários começam a diminuir de novo” (Goldratt, 2002, p. 123). Essa descrição ilustra o fenômeno da covariância como a reação em cadeia decorrente de atrasos e ajustes internos: quando uma parte do sistema não cumpre sua função no tempo esperado, outras precisam compensar o desvio para restabelecer o equilíbrio operacional. Na

narrativa da obra A Meta, essa dinâmica se manifesta na tentativa de “correr para recuperar o atraso”, evidenciando como as variações em uma área repercutem em todo o fluxo produtivo.

Dessa forma, a covariância reforça a premissa central da Teoria das Restrições de que os sistemas organizacionais devem ser compreendidos de maneira holística, considerando as interdependências entre suas partes. Reconhecer e mensurar essas correlações é essencial para reduzir a variabilidade do processo e otimizar o desempenho global – princípio que dialoga diretamente com as técnicas quantitativas de modelagem e otimização, como a Programação Linear, que busca traduzir essas relações interdependentes em estruturas matemáticas passíveis de análise e solução. A aplicação prática da Teoria das Restrições é operacionalizada por meio do método dos cinco passos de focalização, que orienta o processo contínuo de melhoria organizacional (Figura 2).

Figura 2. Processo de melhoria contínua



Fonte: elaborado pelas autoras (2025) a partir de Goldratt (2002).

O primeiro passo consiste em identificar o gargalo do sistema, isto é, o recurso ou processo que limita o desempenho global da operação. O segundo passo envolve decidir como explorar o gargalo, assegurando que sua capacidade seja utilizada de forma plena e eficiente – evitando, por exemplo, paradas desnecessárias ou períodos ociosos. No terceiro passo, deve-se subordinar todas as demais atividades à decisão anterior, garantindo que o ritmo de produção de todo o sistema esteja alinhado à capacidade do gargalo. O quarto passo propõe elevar o gargalo, ou seja, adotar ações que aumentem sua capacidade produtiva, como melhorias tecnológicas, ajustes de processo ou realocação de recursos. Por fim, o quinto passo alerta para o risco da inércia organizacional: uma vez superada a restrição, é necessário retomar o ciclo e identificar a próxima limitação, evitando que antigas práticas se tornem novos obstáculos. De forma sintética, esses cinco passos configuram um processo iterativo de identificação, exploração e superação de restrições, que visa maximizar o ganho global do sistema e sustentar o ciclo de melhoria contínua preconizado por Goldratt (2002).

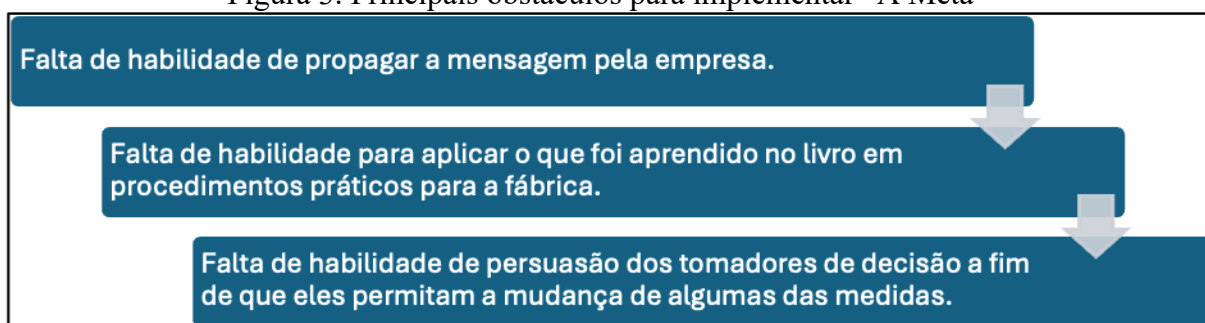
2.1.1 Principais obstáculos para implementar “A Meta” e habilidades do gestor

Apesar de sua aplicabilidade comprovada, a implementação prática dos princípios da Teoria das Restrições enfrenta obstáculos significativos de natureza organizacional e comportamental. À medida que a produção é aprimorada e as restrições físicas são superadas, as limitações tendem a se deslocar para outros setores da empresa, frequentemente assumindo formas intangíveis, como políticas internas inadequadas ou resistências culturais. Nesses casos, a identificação e a superação das restrições tornam-se mais complexas, exigindo mudanças de mentalidade e de comportamento gerencial.

Goldratt (2002) destaca que, quando a restrição deixa de ser física e passa a ser de natureza política, o desafio consiste em reconhecer regras, procedimentos e indicadores de desempenho que se mantêm vigentes mesmo após perderem sua função original. A superação dessas restrições exige habilidade de persuasão e liderança, uma vez que envolve alterar crenças e práticas arraigadas na organização.

Entre os principais obstáculos observados, destacam-se: a falta de habilidade para propagar a mensagem e disseminar o novo raciocínio pela empresa; a dificuldade de transformar o aprendizado teórico em procedimentos práticos aplicáveis ao ambiente produtivo; e a limitação na capacidade de convencer os tomadores de decisão a permitir mudanças estruturais necessárias (Figura 3).

Figura 3. Principais obstáculos para implementar “A Meta”



Fonte: elaborado pelas autoras (2025) a partir de Goldratt (2002).

Além disso, Goldratt observa que, muitas vezes, o foco excessivo em ferramentas ou softwares de controle desvia a atenção dos gestores das mudanças conceituais e comportamentais requeridas para que o sistema funcione plenamente. Assim, a efetiva implementação da Teoria das Restrições depende não apenas do domínio técnico dos seus princípios, mas, sobretudo, da gestão das resistências internas, do alinhamento estratégico e da disposição para revisar políticas e práticas que inibem o fluxo de melhoria contínua.

A Figura 4 apresenta um modelo sequencial de cinco camadas de resistência que tipicamente surgem durante a implementação de uma nova solução, processo frequentemente associado à Teoria das Restrições.

Figura 4. Principais obstáculos para implementar “A Meta”



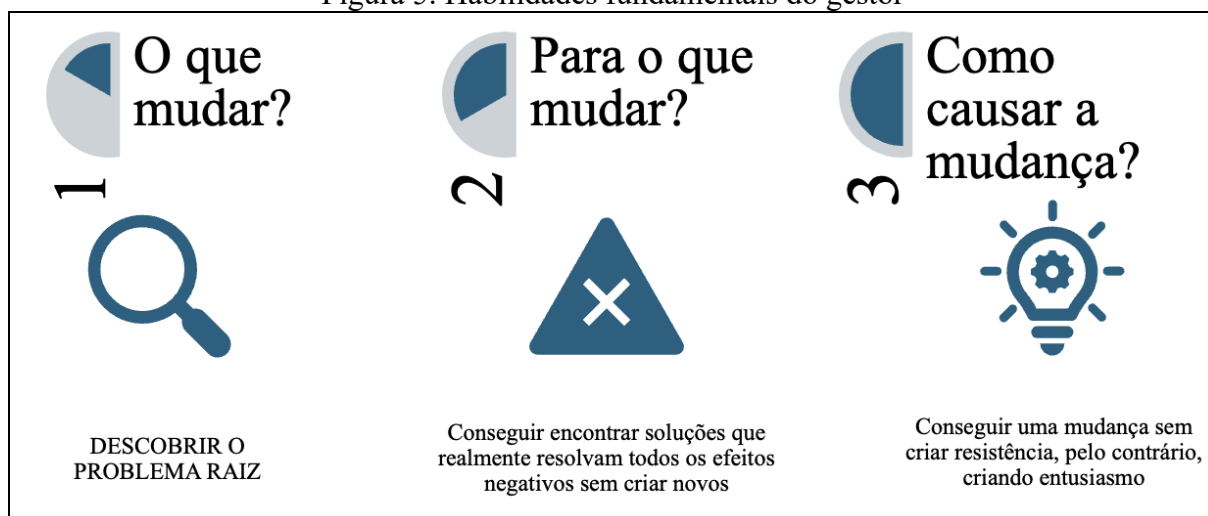
Fonte: elaborado pelas autoras (2025) a partir de Goldratt (2002).

A resistência inicia-se (Camada 1) com a tentativa de desviar a culpa para fatores externos ou para pressões de grupos como fornecedores e alta administração. Em seguida (Camada 2), passa-se a questionar a eficácia da solução, argumentando que ela não trará os resultados desejados ou que não é óbvia para todos os envolvidos. Na terceira etapa (Camada 3), a objeção se transforma no argumento do "sim, mas...", alegando que a solução, mesmo que válida, gerará consequências e efeitos negativos. A resistência evolui então (Camada 4) para a identificação de obstáculos práticos e operacionais que impedirão a implementação no dia a dia. Por fim (Camada 5), manifestam-se as dúvidas sobre a colaboração das outras pessoas, ou pior, uma resistência silenciosa e não verbalizada.

Isto é, existe a conclusão com o modelo das camadas da resistência de que a remoção sistemática e sequencial dessas cinco camadas é a chave para transformar a oposição inicial em engajamento e entusiasmo pela mudança. Em outras palavras, se você/gestor/líder ou membro de uma equipe remover todas essas camadas sequencialmente você transformará a resistência à mudança no entusiasmo de um inventor. O que nos leva avançar para outra questão: como causar as mudanças de comportamentos necessárias?

Os Três Pilares da Transformação Organizacional, conforme ilustrado na Figura 5, representam o arcabouço metodológico para a gestão eficaz da mudança, exigindo três competências críticas do gestor (Goldratt, 2002). Primeiramente, o pilar “O que mudar?” exige uma acuidade diagnóstica para transcender os sintomas e descobrir o problema raiz da organização, o que é fundamental para evitar a dissipação de recursos em correções superficiais. Em segundo lugar, o pilar “Para o que mudar?” desafia o gestor a desenvolver uma proposta de valor sistêmica capaz de solucionar todos os efeitos negativos sem introduzir novos trade-offs, elevando a solução a um patamar de inovação e coerência lógica. Finalmente, o pilar “Como causar a mudança?” demanda a liderança catalisadora necessária para implementar a solução de forma a superar a resistência e gerar entusiasmo, garantindo a adesão e a sustentabilidade da transformação no ambiente corporativo.

Figura 5. Habilidades fundamentais do gestor



Fonte: elaborado pelas autoras (2025) a partir de Goldratt (2002).

Em termos exploratório, Freddi (2019) explorou a conexão entre Programação Linear (PL) e a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) no ensino superior, teve como itens de estudo a funcionalidade da ABP no ensino introdutório de PL (focado em modelagem e resolução gráfica) e o desenvolvimento de habilidades interpessoais (como comunicação e trabalho em equipe). O objetivo foi verificar a eficácia da ABP, que se provou viável e didática. Os resultados, obtidos através de minicursos, apontaram que todos os participantes consideraram que o objetivo foi atingido e que utilizariam a ABP em suas disciplinas. Contudo, observou-se uma dificuldade significativa dos alunos em associar o vetor gradiente da função objetivo para a localização gráfica do valor ótimo, mesmo entre aqueles com conhecimento prévio de PL.

De forma parecida metodologicamente, Pinto e Ramos (2022) buscaram verificar a maximização do nível de satisfação dos professores na alocação de disciplinas, comparando a alocação manual com a otimizada por modelagem e simulação via PL, utilizando o Solver do MS Excel. Os resultados demonstraram que a modelagem via PL permitiu alcançar maior equidade e satisfação na distribuição dos encargos didáticos. Especificamente, o Teste 1 (maximizando a preferência docente sem interferência política) alcançou 97,01% de satisfação geral e menor dispersão da carga horária (desvio padrão populacional de 2,30), enquanto o Teste 6 (maximizando a preferência da chefia, com foco político) resultou numa queda drástica da satisfação plena dos docentes para 60%, evidenciando que a interferência política intradepartamental compromete as preferências individuais.

3 METODOLOGIA

A abordagem desta pesquisa é quantitativa e explicativa, visando elucidar o potencial de sinergia entre a Programação Linear (PL) e a Teoria das Restrições (TOC) na análise de problemas gerenciais estruturados. O objetivo é de caráter aplicado, dada a intenção de propor um modelo de resolução e interpretação para uma questão de avaliação de desempenho acadêmico de nível superior, mais especificamente encontrada no Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes (ENADE) para o acadêmicos do curso de administração do ano de 2022. Importante contextualizar que três perguntas precisam ser respondidas para a resolução de um problema de programação linear (Quadro 1).

Quadro 1. Roteiro para resolução de problemas com Programação Linear

a. Quais as variáveis de decisão?	b. Qual o objetivo?	c. Quais as restrições?
Aqui o trabalho consiste em explicitar as decisões que devem ser tomadas e representar as possíveis decisões através de variáveis chamadas variáveis de decisão.	Aqui devemos identificar o objetivo da tomada de decisão. Eles aparecem geralmente na forma da maximização de lucros ou receitas, minimização de custos, perdas etc.	Cada restrição imposta na descrição do sistema deve ser expressa como uma relação linear (igualdade ou desigualdade), montadas com as variáveis de decisão

Fonte: elaborado pelas autoras (2025) a partir de Silva (2017).

Em relação às variáveis (questão a), se o problema é de programação de produção, as variáveis de decisão são as quantidades a produzir no período; se for um problema de programação de investimento, as variáveis vão representar as decisões de investimento, isto é, quanto investir em cada oportunidade de investimento, e em que período. Nas descrições sumárias de sistemas, isso fica claro quando lemos a questão proposta, isto é, a pergunta do problema. Já em relação a questão b, a função objetivo é a expressão que calcula o valor do objetivo (lucro, custo, receita, perda etc.), em função das variáveis de decisão.

Os procedimentos metodológicos combinam revisão bibliográfica aprofundada sobre a Teoria das Restrições a partir da obra de Goldratt (2002), com o potencial emprego de estudos de caso para examinar a aplicação prática dos modelos em contextos organizacionais reais, assegurando a validade e a pertinência das inferências.

Isto é, além da primeira fase que foi a revisão bibliográfica, seguiu-se para a seleção documental, onde questões gerenciais de desempenho, extraídas do ENADE de 2022 foram coletadas. O critério de seleção focou em problemas que apresentassem condições de otimização de recursos (viabilizando a PL) e de identificação de gargalos ou restrições (viabilizando a TOC). A terceira fase foi a de análise e resolução a partir do modelo matemático de Programação Linear, assim como foi resolvido no próprio MS Excel com o suplemento solver (Microsoft® Excel para Mac, Versão 16.101.3, 25100321, Licença: Microsoft 365 Assinatura) e Open Solver (macro open source). A quarta fase, foi onde as autoras resolveram o problema, seguido da discussão, com ênfase em como a PL fornece a estrutura quantitativa para a decisão, e a TOC oferece a interpretação causal e estratégica para a mudança.

Este método permite ao leitor replicar o processo de aplicação conjunta e verificar a contribuição incremental de cada ferramenta na resolução e, crucialmente, na interpretação dos problemas gerenciais complexos. Ademais, esta pesquisa foi conduzida em conformidade com as orientações do Guia para a Inteligência Artificial Generativa na Educação e na Pesquisa da UNESCO, assegurando o uso ético, responsável e transparente dessas ferramentas (UNESCO, 2023). O emprego da IA limitou-se a apoiar a organização textual e a clareza conceitual, sem comprometer a originalidade, a autoria intelectual nem a integridade científica do trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 BREVE NOTAS SOBRE O ENADE E APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

O ENADE (Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes) é uma prova aplicada anualmente pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep) para avaliar o desempenho de estudantes concluintes de cursos de graduação no Brasil (INEP, 2022). Ele faz parte do Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior (Sinaes)

e serve como um indicador da qualidade dos cursos e instituições, avaliando o aprendizado em relação aos conteúdos, competências e habilidades previstas nas diretrizes curriculares.

A prova (ENADE) é dividida em duas partes: formação geral que avalia conhecimentos sobre temas relevantes da sociedade e direitos humanos (peso 25% dos componentes da nota) e conhecimentos específicos que contempla as questões relacionadas à área de estudo do estudante (peso 75% dos componentes da nota). O Quadro 2 reproduz a Questão 24 da prova aplicada aos alunos de administração do ano de 2022.

Quadro 2. Questão específica: parte objetiva ENADE 2022

Questão 24. Uma cooperativa de produtores agrícolas deseja escoar sua produção de cocos advinda das fazendas de origem para os centros consumidores, com o objetivo de atender as demandas desses locais no mês seguinte. Devido ao aumento do custo de produção e transporte, a cooperativa decidiu contratar um administrador para ajudar a reduzir o custo de distribuição, definindo o volume a ser transportado de cada região de origem para cada centro consumidor.

Suponha que 1 e 2 sejam as regiões de origem das fazendas de coco, e 3 e 4, os centros consumidores. A tabela 1 apresenta os valores dos fretes (em reais, por tonelada) para o referido transporte, entre cada par de origem-centro consumidor. A tabela 2 mostra os dados da oferta para cada ponto de origem, e a tabela 3, o volume para cada centro consumidor (destino).

Tabela 1 – Valores de fretes por toneladas de coco (R\$/tonelada)

Origem	Centro Consumidor (Destino)	
	3	4
1	R\$ 100/ton.	R\$ 150/ton.
2	R\$ 90/ton.	R\$ 135/ton.

Tabela 2 – Volume (em toneladas de coco) ofertado em cada origem

Origem	Oferta
1	400
2	300

Tabela 3 – Volume (em toneladas de coco) demandado em cada destino

Destino	Demanda
3	250
4	450

Considere X_{ij} uma variável pertencente ao conjunto dos números Reais, não negativos, que representa a quantidade de coco (em toneladas) a ser enviada de cada origem “i” ao destino “j”.

Nesse contexto, um modelo de apoio à decisão, de Programação Linear, que, quando resolvido, ajudará a cooperativa a tomar a decisão de quantas toneladas de coco devem ser enviadas de cada origem para cada destino é:

A) Função Objetivo:

$$\text{Minimizar } Z = 100 \cdot X_{13} + 150 \cdot X_{14} + 90 \cdot X_{23} + 135 \cdot X_{24}$$

Sujeito às restrições:

$$X_{13} + X_{14} = 400$$

$$X_{23} + X_{24} = 300$$

$$X_{13} + X_{23} = 250$$

$$X_{14} + X_{24} = 450$$

$$X_{13}, X_{14}, X_{23}, X_{24} \geq 0$$

B) Função Objetivo:

$$\text{Minimizar } Z = 400 \cdot (100 \cdot X_{13} + 150 \cdot X_{14}) + 300 \cdot (125 \cdot X_{23} + 135 \cdot X_{24})$$

Sujeito às restrições:

$$X_{13} + X_{14} = 250$$

$$X_{14} + X_{24} = 450$$

$$X_{13}, X_{14}, X_{23}, X_{24} \geq 0$$

C) Função Objetivo:

$$\text{Maximizar } Z = 400 \cdot (100 \cdot X_{13} + 150 \cdot X_{14}) + 300 \cdot (125 \cdot X_{23} + 135 \cdot X_{24})$$

Sujeito às restrições:

$$X_{13} + X_{23} = 250$$

$$X_{14} + X_{24} = 450$$

$$X_{13}, X_{14}, X_{23}, X_{24} \geq 0$$

D) Função Objetivo:

$$\text{Maximizar } Z = (100 + 400 + 250) \cdot X_{13} + (150 + 300 + 250) \cdot X_{14} + (90 + 400 + 250) \cdot X_{23} + (135 + 300 + 450) \cdot X_{24}$$

$$+ 250) \cdot X_{24}$$

E) Função Objetivo:

$$\text{Minimizar } Z = 100 \cdot X_{13} + 150 \cdot X_{14} + 90 \cdot X_{23} + 135 \cdot X_{24}$$

Fonte: (INEP, 2022, p. 28).

4.2 Construção do problema matemático

A tarefa inicial, e muitas vezes a mais valiosa, na análise de um problema gerencial é a construção do modelo do sistema que deu origem à situação indesejada. Embora a modelagem seja frequentemente vista como uma arte, o desenvolvimento dessa habilidade fundamental deve começar por sistemas simples, enfatizando-se o envolvimento prático na elaboração dos modelos propostos. Um aspecto central na criação de qualquer modelo é a definição assertiva das variáveis de decisão, processo que deve ser guiado pela pergunta central de pesquisa: “o que queremos saber?” (Silva, 2017, p. 8).

O problema é um modelo de transporte clássico da Programação Linear, que busca minimizar o custo total de distribuição da produção de coco das origens (fazendas) para os destinos (centros consumidores), sujeitos às capacidades de oferta e demandas. As variáveis de decisão representam as quantidades (em toneladas) a serem transportadas de cada origem para cada destino, isto é:

X_{ij} : Quantidade de coco (em toneladas) a ser enviada da origem i para o destino j .

$i \in \{1,2\}$ (Origens)

$j \in \{3,4\}$ (Destinos)

a) Portanto, as variáveis de decisão são:

X_{13} : Quantidade a ser enviada da Origem 1 para o Destino 3.

X_{14} : Quantidade a ser enviada da Origem 1 para o Destino 4.

X_{23} : Quantidade a ser enviada da Origem 2 para o Destino 3.

X_{24} : Quantidade a ser enviada da Origem 2 para o Destino 4.

Já a função é dada pela soma do produto da quantidade transportada (X_{ij}) pelo custo unitário de frete (R\$/tonelada) para cada rota.

b) Portanto, a Função objetivo é:

$$\text{Minimizar } X = 100X_{13} + 150X_{14} + 90X_{23} + 135X_{24}$$

c) Existem três tipos de restrições:

- Restrições de Oferta (Capacidade das Origens)

A quantidade total de coco enviada de cada origem não pode exceder o volume ofertado.

Origem 1: $X_{13} + X_{14} \leq 400$ (A oferta da Origem 1 é 400 toneladas)

Origem 2: $X_{23} + X_{24} \leq 300$ (A oferta da Origem 2 é 300 toneladas)

- Restrições de Demanda (Centros Consumidores)

A quantidade total de coco recebida em cada destino deve atender (ser igual ou maior que) a demanda do centro consumidor.

Destino 3: $X_{13} + X_{23} \geq 250$ (A demanda do Destino 3 é 250 toneladas)

Destino 4: $X_{14} + X_{24} \geq 450$ (A demanda do Destino 4 é 450 toneladas)

- Restrições de Não-Negatividade

As quantidades transportadas devem ser não-negativas (não é possível transportar uma quantidade negativa).

$$X_{13}, X_{14}, X_{23}, X_{24} \geq 0$$

Assim, a questão correta é letra a (Quadro 2).

4.3 Resolução do problema com o modelo Simplex

O Algoritmo Simplex constitui um conjunto estruturado de critérios iterativos destinados à seleção sequencial de soluções básicas viáveis que progressivamente aprimoram o valor da função objetivo do modelo. Essencialmente, o processo requer uma solução básica inicial como ponto de partida. As soluções subsequentes são geradas por meio da troca estratégica de variáveis – onde variáveis não-básicas ingressam na base em substituição a variáveis básicas que a deixam. Este procedimento de permuta é repetido até que um teste de otimalidade formal seja satisfeito. A eficácia e a própria essência do método Simplex residem precisamente nos critérios estabelecidos para a seleção dos vetores (e, conseqüentemente, das variáveis) que entram e saem da base, garantindo que cada iteração avance em direção à solução ótima global (Silva, 2017).

A cooperativa quer minimizar o custo total de transporte dos cocos das origens (1 e 2) até os destinos (3 e 4). Cada variável X_{ij} indica quantas toneladas de coco serão enviadas:

Variável	Interpretação
x_{13}	De origem 1 → destino 3
x_{14}	De origem 1 → destino 4
x_{23}	De origem 2 → destino 3
x_{24}	De origem 2 → destino 4

Função objetivo (minimizar custo total):

$$\text{Minimizar } X = 100X_{13} + 150X_{14} + 90X_{23} + 135X_{24}$$

Sujeito às restrições:

Oferta do dia 1	$X_{13} + X_{14} = 400$ (Origem 1 pode enviar no máximo 400 toneladas)
Oferta do dia 2	$X_{23} + X_{24} = 300$ (Origem 2 pode enviar no máximo 300 toneladas)
Demanda do dia 3	$X_{13} + X_{23} = 250$ (Centro consumidor 3 precisa receber 250 toneladas)
Demanda do dia 4	$X_{14} + X_{24} = 450$ (Centro consumidor 4 precisa receber 450 toneladas)
+ não negatividade	$X_{13}, X_{14}, X_{23}, X_{24} \geq 0$

O processo de parametrização do Solver consiste em definir a função objetivo, as variáveis de decisão e as restrições do problema, permitindo ao Excel encontrar a solução ótima. Nesse sentido, o primeiro passo é verificar se o suplemento solver está instalado no Excel (caminho no Excel: Arquivo > Opções > Suplementos > Ir > Solver).

Na sequência, é preciso montar o quadro solução (com a modelagem), veja a Figura 6.

Figura 6. #2 passo (modelagem matemática no Excel: quadro solução)

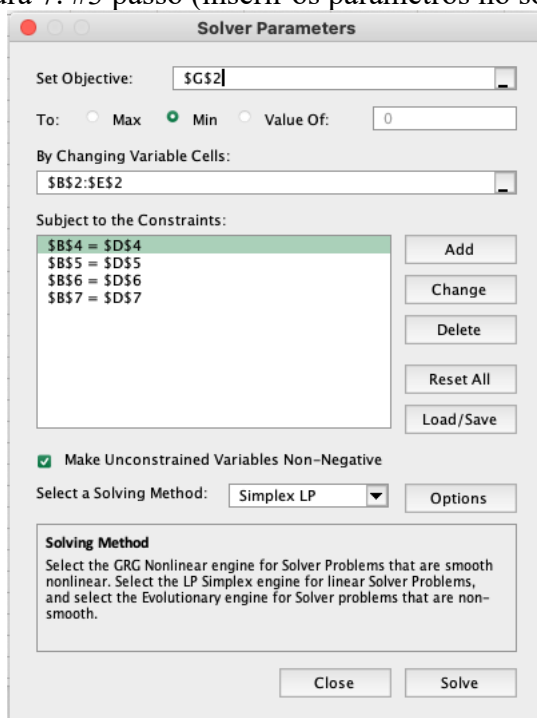
G2						
fx = 100*B2+150*C2+90*D2+135*E2						
	A	B	C	D	E	F
1	Variáveis	X13	X14	X23	X24	Z
2	Valores V.D.					0
3						
4	Restrição 1	0	=	400		
5	Restrição 2	0	=	300		
6	Restrição 3	0	=	250		
7	Restrição 4	0	=	450		

Fonte: elaborado pelas autoras (2025).

Em azul estão os valores de decisão (VD) que buscamos para responder a pergunta: quanto transportar para uma solução ótima, considerando nossa função objetivo (célula G2). Em amarelo estão as restrições, já com a fórmula inserida (e.g. restrição 1 = $X_{13} + X_{14}$).

Na janela apresentada, a célula G2 representa a função objetivo a ser minimizada (por exemplo, o custo total de transporte), enquanto as células B2:E2 são as variáveis de decisão ajustadas pelo algoritmo. As restrições inseridas garantem o equilíbrio entre oferta e demanda, conforme mostrado nas relações entre as células B4:D4, B5:D5, B6:D6 e B7:D7. A opção de manter as variáveis não negativas impede resultados inviáveis, e o método Simplex LP é utilizado por se tratar de um problema linear.

Figura 7. #3 passo (inserir os parâmetros no solver)



Fonte: elaborado pelas autoras (2025).

Após configurados esses parâmetros, o Solver calcula automaticamente a combinação de valores que minimiza o custo dentro das condições estabelecidas (Figura 8).

Figura 8. A solução ótima do problema

G2		=100*B2+150*C2+90*D2+135*E2					
	A	B	C	D	E	F	G
1	Variáveis	X13	X14	X23	X24		Z
2	Valores V.D.	250	150	0	300		88000
3							
4	Restrição 1	400	=	400			
5	Restrição 2	300	=	300			
6	Restrição 3	250	=	250			
7	Restrição 4	450	=	450			

Fonte: elaborado pelas autoras (2025).

A decisão ótima de transporte indica que a origem 1 deve atender integralmente o destino 3, pois apresenta o menor custo unitário para essa rota, e ainda enviar 150 toneladas ao destino 4 para equilibrar a distribuição. Já a origem 2 deve direcionar todo o seu volume ao destino 4, uma vez que, apesar do custo individual do frete (R\$135), essa alocação resulta no menor custo global do sistema ao atender simultaneamente todas as restrições de oferta e demanda. O modelo matemático, ao ser resolvido pelo Solver, distribui os volumes de forma a minimizar o custo total de transporte, respeitando as limitações impostas. Dessa forma, o algoritmo identifica automaticamente o equilíbrio ideal entre custos e quantidades, evitando tanto excesso quanto falta de entrega. O custo mínimo total obtido ($Z^* = \text{R\$}88.000$) representa o valor ótimo possível dentro das condições estabelecidas, sendo qualquer outra combinação viável necessariamente igual ou mais onerosa.

Em outras palavras, A solução ótima indica que a cooperativa deve transportar:

250 toneladas da origem 1 para o centro consumidor 3,

150 toneladas da origem 1 para o centro consumidor 4 e

300 toneladas da origem 2 para o centro consumidor 4.

Essa configuração atende exatamente as demandas de cada destino (250 e 450 toneladas, respectivamente) e escoa toda a oferta das origens (400 e 300 toneladas), resultando em um custo mínimo total de R\$ 88.000,00.

Os resultados deste estudo são convergentes com a aplicação do método em diferentes pesquisas. Por exemplo, Pinto e Ramos (2022) apontaram que o uso de modelagem permitiu alcançar maior equidade e satisfação com a distribuição de encargos didáticos dos professores. Da mesma forma Freddi (2019) conclui que em cursos de engenharia as habilidades citadas não são trabalhadas a contento, o que ocasiona uma lacuna entre a formação acadêmica e as exigências do mercado de trabalho. Como experimentação do método de Aprendizagem Baseada em Problemas no ensino introdutório de Programação Linear, foram ministrados dois minicursos em instituições públicas de ensino superior em que problemas de Programação Linear foram propostos para modelagem e resolução gráfica.

A partir desse ponto, a elaboração de uma demonstração gráfica facilita a obtenção de uma solução ou de conjunto de possibilidades próximos à resolução, por exemplo, utilizando o modelo SIMPLEX, conforme indicado por autores como Russel e Taylor (2003), Moreira (2008) e Martins e Laugeni (2015), capaz de solucionar problemas a partir de um algoritmo que consegue resolver problemas, independentemente do número de variáveis envolvidas. Moreira (2008) explica que o SIMPLEX envolve uma sequência de interações, contendo cada uma delas a mesma série de cálculos, até que se chegue a uma combinação ótima, quer seja de maximização no uso de recursos ou minimização de gargalos.

A aplicação conjunta da Programação Linear (PL) e da Teoria das Restrições (TOC) (Goldratt, 2002) demonstrou ser uma estratégia eficaz para a resolução e interpretação de problemas gerenciais, como o proposto na avaliação do ENADE 2022. Enquanto a PL, por meio do uso do Solver no Microsoft Excel, permite determinar soluções quantitativas ótimas – minimizando custos ou maximizando resultados sob um conjunto de restrições –, a TOC complementa essa abordagem ao oferecer uma interpretação qualitativa e sistêmica do problema, destacando os gargalos e a lógica de priorização dos recursos.

Assim, a integração dessas metodologias favorece não apenas a obtenção de respostas matematicamente precisas, mas também o desenvolvimento de uma visão gerencial crítica, capaz de compreender as causas estruturais dos limites produtivos e propor melhorias contínuas. Essa articulação entre técnica e análise gerencial contribui para formar administradores com maior capacidade de tomada de decisão e pensamento sistêmico, alinhando raciocínio lógico e competência prática às exigências do ENADE e do ambiente empresarial real.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho foi elaborado a fim de responder o seguinte questionamento: como a aplicação conjunta da Programação Linear e da Teoria das Restrições pode contribuir para a resolução e interpretação de problemas gerenciais propostos em avaliações de desempenho acadêmico, tais como o ENADE? Para tanto, o objetivo geral foi definido como avaliar a aplicabilidade de uma questão objetiva da prova de Administração do ENADE, utilizando a Programação Linear e a Teoria das Restrições, a partir da implementação prática no MS Excel com o suplemento OpenSolver. A partir dessa proposta, busca-se evidenciar o potencial das ferramentas de otimização na formação analítica do administrador e no desenvolvimento de competências voltadas à solução de problemas complexos.

Do ponto de vista teórico, o trabalho explorou a lacuna existente na integração entre o ensino de métodos quantitativos (notadamente pesquisa operacional se insere neste contexto) e o desenvolvimento de habilidades gerenciais orientadas à tomada de decisão sob restrições. Ao propor uma abordagem prática e interdisciplinar, a pesquisa contribuiu para o fortalecimento da relação entre teoria e aplicação, especialmente no contexto do ensino superior em Administração.

Gerencialmente, o texto proporciona a seguinte reflexão: a eficácia do método reside na articulação da precisão técnica da Programação Linear com a capacidade de análise gerencial para construir modelos transparentes, mitigar falhas humanas e influências políticas, e garantir que a tomada de decisão seja fundamentada tanto na lógica matemática quanto no conhecimento organizacional e no diálogo entre as partes interessadas.

Como limitações pode ser citado que nem todas as formas de resolver o problema foram abordadas, tais como análise gráfica ou matriz identidade. Contudo, o foco estava em propiciar maior detalhamento para o uso do OpenSolver. Como sugestão para futuros estudos, indica-se que os autores podem desenvolver a aplicação do método para outras áreas de conhecimento e explorar sua validade, cumprindo assim um dos papéis da ciência, que consiste na replicabilidade.

REFERÊNCIAS

- ATAMTÜRK, A. et al. A relational modeling system for linear and integer programming. **Operations Research**. 2002.
- CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C.A. **Administração de Produção e Operações**: Manufatura e serviços, uma abordagem estratégica. Editora Atlas, 5º Ed. 2012.
- FREDDI, Eliana. **Um estudo sobre programação linear e aprendizagem baseada em problemas**. Mestra em Matemática Aplicada e Computacional—Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 30 jul. 2019.
- GOLDBARG, M.C.; LUNA, L. **Otimização Combinatória e Programação Linear**: modelos e algoritmos, 2.ed. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2005 – 10a reimpressão 2005;
- GOLDRATT, Eliyahu M. **A meta: um processo de melhoria contínua**. Tradução: Thomas Corbett Neto. São Paulo: Nobel, 2002.

INEP. **Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes 2022: prova de Administração.** Brasília, DF: Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), nov. 2022. Disponível em: <https://download.inep.gov.br/enade/provas_e_gabaritos/2022_PV_administracao.pdf>. Acesso em: 10 out. 2025.

LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa Operacional na tomada de decisões.** 5ª edição ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

MARTINS, Petrônio Garcia; LAUGENI, Fernando P. **Administração da Produção.** São Paulo: Saraiva, 2015.

MOREIRA, D.A. **Administração da Produção e Operações**, 1º Ed, Saraiva, 2008.

PINTO, Juliany Helen das Graças; RAMOS, Simone Cristina. A decisão da distribuição didática numa Instituição Federal de Ensino Superior (IFES): o nível de satisfação dos docentes sem e com interferência política. *In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM ADMINISTRAÇÃO. XLVI Encontro da ANPAD - EnANPAD 2022.* Maringá (online): Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração, 21 set. 2022. Disponível em: <<https://anpad.com.br/uploads/articles/120/approved/d7b431b1a0cc5f032399870ff4710743.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2025

RUSSEL, R.S.; TAYLOR, B.W. **Operations Management.**, Prentice Hall, 2003.

SILVA, Ermes Medeiros Da. **Pesquisa Operacional - Para os Cursos de Administração e Engenharia.** 5ª edição ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2017.

UNESCO. **Guidance for generative AI in education and research.** Paris, France: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2023.