

Desenvolvimento de um Simulador Gamificado para o Ensino de Supply Chain Management: Uma Abordagem sobre o Efeito Bullwhip

Laura Rangel¹, Breno Avelino Costa da Silva¹,
Aluisio dos Santos Monteiro Junior¹, Marcus Parreiras^{1,2}

¹ COENP - Coordenadoria de Engenharia de Produção
Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ)
Estrada de Adrianópolis, 1.317 - Santa Rita, Nova Iguaçu - RJ

²LUDES - Programa de Engenharia de Sistemas e Computação
COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro
Avenida Horácio Macedo, 2030, CT, Bloco H, sala 319, Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Abstract. Introduction: Supply Chain Management (SCM) faces significant challenges due to the bullwhip effect, which causes information distortion and operational inefficiency. Traditional teaching methods often lack the dynamic complexity of real-world markets. **Objective:** This work aims to develop an educational single-player video game that modernizes the Beer Distribution Game, providing a realistic platform for teaching SCM and risk management. **Methodology:** The project follows an incremental design, transitioning from a physical prototype to a Python-based simulation. A core innovation is the ability to select specific industrial sectors (e.g., Fashion or Steel), which triggers contextualized random events every two rounds, such as seasonal collection changes or exchange rate fluctuations, to simulate authentic logistics disruptions. **Expected Results:** It is expected that the simulator, by integrating these industry-specific constraints, will effectively reproduce demand oscillations and improve student engagement and critical thinking regarding decision-making under uncertainty in diverse industrial contexts. **Keywords** Supply Chain Management, Bullwhip Effect, Educational Games, Simulation, Logistics Risk.

Resumo. Introdução: A gestão da cadeia de suprimentos (SCM) enfrenta desafios críticos devido ao efeito bullwhip, que gera distorção de informações e ineficiência operacional. Métodos tradicionais de ensino muitas vezes carecem da complexidade dinâmica dos mercados reais. **Objetivo:** Este trabalho visa desenvolver um videogame educativo single-player que moderniza o Beer Distribution Game, fornecendo uma plataforma realista para o ensino de SCM e gestão de riscos. **Metodologia:** O projeto utiliza um design incremental, evoluindo de um protótipo físico para uma simulação digital em Python. Um diferencial central é a possibilidade de selecionar setores industriais específicos (ex: Moda ou Siderurgia), o que ativa eventos aleatórios contextualizados a cada duas rodadas, como mudanças de coleção ou oscilações cambiais, para simular interrupções logísticas autênticas. **Resultados Esperados:** Espera-se que o simulador, ao integrar essas restrições específicas por setor, reproduza com eficácia as oscilações de demanda e melhore o engajamento e

o pensamento crítico dos alunos sobre a tomada de decisão sob incerteza em diversos contextos industriais.

Palavras-Chave *Gestão da Cadeia de Suprimentos, Efeito Chicote, Jogos Educativos, Simulação, Risco Logístico.*

1. Introdução

A gestão da cadeia de suprimentos (*Supply Chain Management* - SCM) moderna enfrenta desafios crescentes devido ao efeito *bullwhip*, que gera distorções de demanda e elevados custos operacionais [Wang e Zhang 2024]. Embora o *Beer Distribution Game* seja o padrão tradicional para o ensino deste conceito [Sterman 1989], dinâmicas físicas tradicionais apresentam limitações no engajamento de estudantes e na simulação da volatilidade das cadeias contemporâneas [Almeida e Silva 2023].

Nesse cenário, a Aprendizagem Baseada em Jogos (*Game-Based Learning*) surge como solução para reproduzir sistemas complexos de forma interativa [Chen e Lucas 2025]. Este trabalho detalha o desenvolvimento de um simulador *single-player*, fruto de pesquisa interdisciplinar no CEFET-RJ, *campus* Nova Iguaçu, que moderniza a lógica clássica do *Beer Game* através de uma arquitetura orientada a objetos capaz de integrar a gestão de riscos ao ensino.

O diferencial da ferramenta é a introdução de eventos estocásticos contextualizados por setor industrial (ex: Moda ou Siderurgia). Essa abordagem adapta as interrupções logísticas a desafios reais de cada nicho, como sazonalidade ou oscilações cambiais, potencializando a eficácia pedagógica. O presente artigo discute essa arquitetura e como tal flexibilidade prepara profissionais para a imprevisibilidade da logística global.

2. Revisão de Literatura

2.1. SCM e o Efeito Bullwhip

A Gestão da Cadeia de Suprimentos (SCM) exige a coordenação de fluxos para garantir a competitividade. Contudo, a eficiência é frequentemente comprometida pelo efeito *bullwhip*, que consiste na amplificação da variabilidade da demanda ao longo dos elos da cadeia, resultando em excessos de estoque e custos logísticos elevados [Lee et al. 1997]. A mitigação desses efeitos depende de estratégias como o compartilhamento de informações e a redução de *lead times*.

2.2. Beer Game e Simulação

As ineficiências em SCM estão ligadas a fatores comportamentais, como a falha na percepção de estoque em trânsito e decisões descentralizadas [Sterman 1989]. O *Beer Distribution Game* é a ferramenta clássica para simular essas falhas de coordenação. Simuladores digitais aprimoram essa dinâmica ao permitir a visualização das oscilações em tempo real, auxiliando na construção de estratégias mais resilientes.

2.3. Game-Based Learning (GBL)

A Aprendizagem Baseada em Jogos (GBL) utiliza mecânicas de jogos para promover engajamento e retenção de conhecimento técnico por meio da prática

[Savvides et al. 2022]. No contexto logístico, o GBL permite simular cenários de mercado com *feedback* imediato, desenvolvendo habilidades analíticas e sistêmicas essenciais para a tomada de decisão sob incerteza.

2.4. Trabalhos Relacionados

Estudos recentes [Almeida e Silva 2023, Pereira e Ferreira 2022, Chen e Lucas 2025] confirmam que a gamificação e os jogos sérios promovem a aprendizagem ativa e o pensamento crítico no ensino de engenharia. Diferente de simuladores comerciais complexos ou dinâmicas físicas de baixa escalabilidade, a solução proposta utiliza uma arquitetura *single-player* orientada a objetos (Classe Elo) com eventos estocásticos. Essa abordagem oferece um modelo acessível e realista para o ensino de Engenharia de Métodos e Processos.

3. Metodologia

A metodologia seguiu um design iterativo em seis etapas, focando na transposição de uma dinâmica física para um ambiente virtual baseado em eventos estocásticos.

3.1. Passos I e II: Definição e Validação Física

Identificou-se a dificuldade de visualização do efeito chicote como problema central. Para mitigá-lo, desenvolveu-se um protótipo físico testado em evento de extensão acadêmica, validando as regras de fluxo de materiais e a interação entre os elos da cadeia antes da digitalização.

3.2. Passo III: Implementação em Python e Lógica de Eventos

O núcleo lógico foi desenvolvido em Python via Programação Orientada a Objetos. O sistema opera como um motor de eventos discretos com as seguintes características:

- **Restrição de Interface:** A interação humana limita-se ao elo Varejista; os demais elos são automatizados via algoritmos internos para isolar o impacto das decisões do usuário.
- **Dinâmica de Fluxo:** O tempo de resposta (*Lead Time*) é modelado como uma fila de espera de produtos em trânsito e o *backlog* como uma dívida de pedidos acumulada que deve ser priorizada nas rodadas seguintes.
- **Gestão de Custos e Balanceamento:** O sistema calcula o impacto financeiro equilibrando os custos de manter produtos estocados versus as penalidades por não atender à demanda (*ruptura*). O balanceamento foi calibrado matematicamente de forma que o custo de ruptura seja rigorosamente superior ao de estocagem, forçando o jogador a gerenciar estoques de segurança de forma estratégica, sem tornar a experiência excessivamente punitiva ou frustrante..

Como demonstrado na execução do protótipo em Python (Figura 1), o sistema replica a instabilidade característica da cadeia de suprimentos, exigindo que o jogador gerencie estoques de segurança sob incerteza.

3.3. Passos IV e V: Game Design, UX e Modelagem na Godot

A lógica validada foi migrada para a *Godot Engine* visando aprofundar a experiência do usuário (UX) e o engajamento através de elementos de *Game Design*. A transição do

```

--- 🍺 BEER GAME: CADEIA COMPLETA 🍺 ---
Defina o Lead Time (ex: 2): 1

===== RODADA 1 =====
📦 DEMANDA DO CONSUMIDOR: 8

--- STATUS VAREJISTA ---
Estoque após venda: 6 | Backlog: 0 | Saldo: R$3038.80
Quanto deseja pedir ao Atacadista? 10
[Atacadista] Estoque: 4 | Backlog: 0 | Pedido p/ cima: 15
[Distribuidor] Estoque: 0 | Backlog: 1 | Pedido p/ cima: 22
[Fabrica] Estoque: 0 | Backlog: 8 | Produção: 29

===== RODADA 2 =====
📦 DEMANDA DO CONSUMIDOR: 3

--- STATUS VAREJISTA ---
Estoque após venda: 13 | Backlog: 0 | Saldo: R$3051.20
Quanto deseja pedir ao Atacadista? 6
[Atacadista] Estoque: 12 | Backlog: 0 | Pedido p/ cima: 7
[Distribuidor] Estoque: 6 | Backlog: 0 | Pedido p/ cima: 11
[Fabrica] Estoque: 10 | Backlog: 0 | Produção: 13

===== RODADA 3 =====

```

Figura 1. Interface de comando do protótipo desenvolvido em Python

protótipo em modo texto (Figura 1) para uma interface gráfica intuitiva mitiga a carga cognitiva do jogador. Saídas de terminal foram substituídas por *dashboards* dinâmicos, gráficos temporais de estoques e alertas cromáticos, que fornecem *feedback* imediato e impactam diretamente na velocidade e eficácia da tomada de decisão estratégica. Além disso, para manter o jogador no estado de *flow* e evitar frustração precoce, o simulador adota um balanceamento de dificuldade progressivo, introduzindo flutuações de demanda brandas nas rodadas iniciais que escalonam conforme a cadeia se estabiliza.

3.4. Passo VI: Estratégia de Avaliação Empírica

Considerando o escopo deste artigo curto, definiu-se um protocolo rigoroso de validação empírica a ser executado nas próximas etapas com turmas de graduação. A eficácia do simulador transcenderá as métricas internas do jogo (como estabilização de estoques e minimização de custos). O plano de validação pedagógica é estruturado em duas dimensões: (i) **Avaliação Cognitiva**: aplicação de questionários diagnósticos (*pré-teste* e *pós-teste*) para mensurar quantitativamente a retenção de conceitos críticos de SCM, como causas do efeito *bullwhip* e impacto dos *lead times*; e (ii) **Avaliação de Experiência**: utilização de formulários baseados na escala Likert para aferir o nível de engajamento, percepção de imersão e a adequação da interface (UX) pelos estudantes.

4. Aplicação do Jogo e Resultados Esperados

4.1. Gamificação, Mecânicas e Calibração Estocástica

O *Supply Rush* distingue-se de uma simulação pura ao integrar elementos fundamentais de gamificação: um sistema de pontuação inversamente proporcional aos custos logísticos (penalizando excessos e rupturas), *feedback* visual imediato e ciclos de progressão. O usuário atua no modo *single-player*, gerenciando variáveis como estoque físico, *backlog* e *pipeline*.

O grande diferencial pedagógico é a seleção do setor industrial (ex: Moda ou Siderurgia), que personaliza eventos aleatórios bi-semanais. Para garantir que essa aleatoriedade não comprometa o aprendizado gerando cenários intransponíveis,

implementou-se uma rigorosa calibração estocástica. Os eventos possuem limites (*bounds*) matemáticos pré-definidos. Por exemplo, uma variação cambial na siderurgia altera custos ou *lead times* dentro de uma margem controlada (ex: restrito a $\pm 15\%$). Isso assegura que o desafio permaneça didaticamente coerente e solucionável através de estratégias corretas de SCM.

4.2. Resultados Esperados

Espera-se que a gamificação do simulador não apenas facilite a visualização do efeito chicote, mas gere um engajamento superior aos métodos de ensino tradicionais. A integração de eventos estocásticos calibrados por setor visa aumentar o realismo sem perder o foco pedagógico, preparando os alunos para a gestão de riscos logísticos em mercados voláteis de forma imersiva e segura, conforme ilustrado no mockup da interface desenvolvido na Godot Engine (Figura 2).



Figura 2. Mockup da interface gráfica do simulador Supply Rush desenvolvido na Godot Engine.

5. Debriefing

O *Supply Rush* é uma ferramenta versátil para o ensino de logística em contextos acadêmicos e corporativos. No ensino superior, serve como recurso didático para disciplinas de Engenharia e Administração, permitindo que docentes manipulem variáveis de demanda e custos para estimular discussões sobre falhas de comunicação na cadeia.

No setor corporativo, o simulador auxilia no treinamento de profissionais de compras e PCP, desenvolvendo habilidades estratégicas frente a cenários de crise e interrupções logísticas. Recomenda-se que a aplicação seja sucedida por uma análise dos gráficos de desempenho gerados, relacionando os resultados do jogo aos desafios reais de *lead times* e gestão de estoque em trânsito.

6. Considerações Finais

Este trabalho apresentou um simulador digital que moderniza o *Beer Game* para o ensino de SCM, validando a transição do protótipo físico apresentado no projeto de extensão acadêmica para um modelo funcional em Python voltado à aprendizagem ativa.

Como trabalhos futuros, planeja-se o refinamento da interface na Godot Engine, a implementação de um módulo multiplayer e a seleção de setores industriais específicos (ex: Moda ou Siderurgia). Esta funcionalidade permitirá contextualizar os

eventos aleatórios conforme cada nicho, como sazonalidade de coleções ou oscilações cambiais, ampliando a aplicabilidade do simulador na Engenharia de Produção. Como desdobramento imediato para sanar a natureza preliminar dos resultados atuais, o projeto avançará para a execução prática dos testes empíricos com estudantes universitários, utilizando integralmente o protocolo de avaliação pedagógica delineado na Seção 3.4 para fins de consolidação estatística da ferramenta.

Referências

- Almeida, R. e Silva, M. (2023). Gamified learning in logistics education: A comparative study of physical and digital simulations. *International Journal of Engineering Education*, 39(2):112–125.
- Chen, H. e Lucas, P. (2025). Educational video games for supply chain training: Engagement and knowledge retention. *Simulation & Gaming*, 56(4):301–318.
- Lee, H. L., Padmanabhan, V., e Whang, S. (1997). Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect. *Management science*, 43(4):546–558.
- Pereira, T. e Ferreira, F. (2022). Gamification in supply chain management: A systematic literature review and future research agenda. *Logistics*, 6(3):58.
- Savvides, P. et al. (2022). Gamification in supply chain management: A systematic literature review. *Logistics*.
- Sterman, J. D. (1989). Modeling managerial behavior: Misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment. *Management Science*, 35(3):321–339. Referência clássica do Beer Game.
- Wang, L. e Zhang, Y. (2024). Mitigating the bullwhip effect in modern supply chains: A data-driven simulation approach. *Journal of Supply Chain Management*, 60(1):45–62.