CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI
JORGE RAMÓN D'ACOSTA RIVERA

APRENDIZAGEM EXPERIENCIAL PARA O APRIMORAMENTO DA COMPREENSÃO DA RELAÇÃO ESTOQUE-FLUXO: desenvolvendo o pensamento sistêmico no ensino em Administração

São Paulo
2017

JORGE RAMÓN D'ACOSTA RIVERA

APRENDIZAGEM EXPERIENCIAL PARA O APRIMORAMENTO DA COMPREENSÃO DA RELAÇÃO ESTOQUE-FLUXO: desenvolvendo o pensamento sistêmico no ensino em Administração

Tese de Doutorado apresentada ao Centro Universitário FEI para obtenção do título de Doutor em Administração de Empresas.

Orientador: Prof. Dr. Edmilson Alves de Moraes

São Paulo

2017

D'Acosta Rivera, Jorge Ramón .
Aprendizagem experiencial para o aprimoramento da compreensão da relação estoque fluxo : Desenvolvendo o pensamento sistêmico no ensino em Administração / Jorge Ramón D'Acosta Rivera. São Paulo, 2017.
146 f. : il.

Tese - Centro Universitário FEI.
Orientador: Prof. Dr. Edmilson Alves de Moraes.

1. Pensamento Sistêmico. 2. Falha de estoque-fluxo. 3. Aprendizagem experiencial. 4. Ensino em Administração. I. Alves de Moraes, Edmilson, orient. II. Título.

Elaborada pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da FEI com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

centro universitário FEI

APRESENTAÇÃO DE TESE
ATA DA BANCA JULGADORA

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Administração

DOUTORADO PPGA-10

Aluno: Jorge Ramón D'Acosta Rivera **Matrícula:** 721302-8

Título do Trabalho: Aprendizagem experiencial como método para desenvolvimento da compreensão sistêmica da relação estoque-fluxo

Área de Concentração: Gestão da Inovação

Orientador: Prof. Dr. Edmilson Alves de Moraes

Data da realização da defesa: 27/03/2017

Avaliação da Banca Examinadora:

_____

_____

_____

_____

São Paulo, 27 / 03 / 2017. **ORIGINAL ASSINADA**

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Edmilson Alves de Moraes Ass.: _____

Prof. Dr. William Sampaio Francini Ass.: _____

Prof.ª Dr.ª Juliana Bonomi Santos Ass.: _____

Prof. Dr. Diógenes de Souza Bido Ass.: _____

Prof. Dr. Otávio Próspero de Sanches Ass.: _____

A Banca Julgadora acima-assinada atribuiu ao aluno o seguinte resultado:

APROVADO ☒ REPROVADO ☐

VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO

APROVO A VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO EM QUE FORAM INCLUÍDAS AS RECOMENDAÇÕES DA BANCA EXAMINADORA

_____

Aprovação do Coordenador do Programa de Pós-graduação

_____

Prof. Dr. Edmilson Alves de Moraes

À minha querida esposa, Pi, aos meus filhos, Rafael e Mariana e aos meus netos, Alexandre, Miguel e João.

AGRADECIMENTOS

O trabalho desenvolvido nesta Tese de doutorado é fruto de muitas interações, conversas e relações com amigos e colegas, professores e alunos que me acompanharam durante este período. Cada um, à sua maneira, contribuiu de maneira significativa e afetuosa, a todos, meu agradecimento.

Em especial, quero agradecer ao Prof. Dr. Edmilson Alves de Moraes, a amizade e a confiança que depositou em meu trabalho bem como todas as suas sugestões, correções e comentários, que contribuíram sempre para melhorar o resultado final desta empreitada. À Professora Drª. Juliana Bonomi dos Santos, que com sua competência e clareza contribuiu significativamente na qualificação, ao Professor Dr. Diógenes de Souza Bido, a dedicação, o cuidado e a seriedade de suas inúmeras contribuições e correções, em relação ao texto apresentado na qualificação. Ao Prof. William Sampaio Francini, pelo apoio amigo durante todo esse período.

Meu muito obrigado também:

À Fundação Educacional Inaciana e ao Centro Universitário FEI que me possibilitaram a realização deste trabalho pela concessão da bolsa de estudos que tornou viável a realização desta pesquisa.

Aos professores que ministraram para mim as disciplinas no programa de pós-graduação do Centro Universitário FEI: André, Jaques, José Mauro, Maria Tereza, Melby e Sadao.

Aos Colegas que me acolheram no grupo de estudos: Alcides, Rafael e Rogério.

Aos Colegas que compartilharam a sala de estudo e as angústias comigo e que, em muitos casos, foram fonte de inspiração e motivação: Elsi, Alan, Rogério, Baitello, Carmen, Seimor, Wharton, Marcelo, Mônica, Daiane, Audrey, Gilmara, Annaysa, Viviane, Suzana, Pattu e Patrícia.

Por fim, minha gratidão e todo meu carinho à minha esposa Maria Aparecida pelo suporte, compreensão, força e inspiração durante estes anos e aos meus filhos Rafael e Mariana e netos Alexandre, Miguel e João, fontes inesgotáveis de energia e alegria.

“O ideal que deve ser colimado é a habilidade para nos aceitarmos a nós mesmos não com resignação, mas com um sentido de consecução, em que a aspiração não é a perfeição estultificante, mas o incentivo satisfatório, que mantém a consecução e a ambição em tensão criadora” (MANNHEIM; STEWART, 1969, p.123).

RESUMO

A falha de estoque-fluxo, viés cognitivo que distorce o julgamento da relação entre um estoque e seus fluxos associados, reportados por Sweeney e Sterman, tem implicações sobre um grande número de decisões que são tomadas na gestão pública e de empresas privadas, constituindo, portanto, questão de relevância na formação dos novos gestores. Embora muitos estudos tenham replicado a falha de estoque-fluxo, em inúmeras condições, poucos forneceram insights sobre intervenções efetivas para melhorar o desempenho dos sujeitos e, até onde é do conhecimento deste estudo, nenhum deles apresentou um modelo derivado de uma teoria de aprendizagem que fornecesse uma base de análise detalhada para compreender o fenômeno. Apesar de estudos recentes procurarem fundamentar suas hipóteses em teorias cognitivas, estes o fazem de maneira genérica e os seus resultados apontam em direções algumas vezes opostas. O presente estudo destinou-se a testar se a aprendizagem experiencial melhora o desempenho dos estudantes no problema da acumulação, protocolo de teste onde foi verificada a falha de estoque-fluxo. Partindo da análise detalhada do problema e da teoria da aprendizagem experiencial, foi possível elaborar um tratamento para melhorar o desempenho de estudantes no problema da acumulação. A elaboração de um tratamento, envolvendo os conceitos associados ao problema da acumulação na forma de uma aprendizagem baseada em problemas PBL, fomentou o exercício operatório de algumas coordenações necessárias para a solução do problema de estoque-fluxo, melhorando o desempenho dos alunos que foram sujeitos a esse tratamento. Essa melhora não se observou nos alunos submetidos a um tratamento placebo, consistindo também de uma aprendizagem baseada em problemas que não envolvia os conceitos associados ao problema da acumulação.

Palavras-chave: Pensamento sistêmico. Falha de estoque-fluxo. Ensino em Administração. Aprendizagem experiencial.

ABSTRACT

The stock-flow failure, cognitive bias that distorts the judgment of the relationship between a stock and its related flows, reported by Sweeney and Sterman, has implications for many decision-making processes in public and private organizations management. Therefore, it is a relevant issue in new manager's education. Although many studies have replicated the stock-flow failure in a number of conditions, few have provided insight into effective interventions to improve the performance of subjects and to the best knowledge of this study, none of them presented a model derived from a theory of learning that provides a detailed analysis for understanding the phenomenon. Although recent studies seek to ground their hypotheses on cognitive theories, they do so in a generic way and their results point in seemingly opposite directions. This study aimed to test whether the experiential learning improves student performance in the accumulation problem, a test protocol where it was verified the stock-flow failure. The present study aimed to test whether experiential learning improves students' performance in the accumulation problem, a test protocol where the stock-flow fault was verified. Based on the detailed analysis of the problem and the theory of experiential learning, it was possible to elaborate a treatment to improve students' performance in the accumulation problem. The elaboration of an intervention, involving the concepts associated with the stock-flow failure in the form of a problem-based learning PBL, promoted the operative exercise of some necessary coordination for the solution of the stock-flow problem, improving the performance of students undergoing this intervention. This improvement was not observed in students undergoing a placebo intervention, also consisting of problem-based learning, where the concepts associated with the accumulation problem were not present.

Keywords: Systems thinking. Stock-flow failure. Business Administration. Experiential learning

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Escolha estratégica sob condições de racionalidade limitada 14
Quadro 1 – Aplicações e áreas que envolvem o problema da acumulação 21
Figura 2 – A função de Ciência de Sistemas no Domínio da Ciência 26
Figura 3 – "Pensadores de sistemas" e seus campos na Ciência 27
Quadro 2 – Proposições e Autores 28
Figura 4 – Conjunto de princípios propostos por Hieronimy 29
Figura 5 – Princípios e subdisciplina da Ciência de Sistemas 30
Quadro 3 – Metodologias de Sistemas próximas ao campo da Administração 30
Figura 6 – Métodos sistêmicos e ciclos de aprendizagem 32
Figura 7 – Escopo e foco do presente estudo 33
Quadro 4 – Definições constitutivas das Categorias Teóricas 35
Figura 8 – Modelo de aprendizagem e desenvolvimento cognitivo de Piaget 42
Figura 9 – Ciclo de aprendizagem experiencial 44
Quadro 5- Princípios instrucionais derivados da abordagem construtivista 45
Figura 10 – O processo de aprendizagem baseada em problemas de Barrows e Myers (1993) 48
Quadro 6 – Autores e publicações relativas ao problema de estoque-fluxo 51
Figura 11 – Teste da banheira de fluxo-estoque desenvolvido por Sweeney e Sterman.. 53
Quadro 7 – Critérios utilizados por Sweeney e Sterman 54
Figura 12 – Teste do fluxo de caixa de fluxo-estoque desenvolvido por Sweeney e Sterman 54
Quadro 8 – Tarefas do delineamento experimental de Kainz e Ossimitz 57
Quadro 9 – Resultados do estudo Kainz e Ossimitz para a Tarefa D 58
Figura 13 – A tarefa de loja de departamentos utilizada por Sterman (2002) 61
Quadro 10 – Resultados na tarefa da loja de departamentos obtidos por Pala e Vennix (2005) 62
Quadro 11 – Percentual de acertos do primeiro experimento de Cronin e Gonzalez..... 64
Figura 14 – Gráficos utilizados para testar as hipóteses 3 e 4 de Cronin e Gonzalez (2007) 64
Figura 15 – Gráficos utilizados para testar as hipóteses 5 e 6 de Cronin e Gonzalez (2007) 66
Figura 16 – Modelo de exercício de instrução de integração gráfica 72

Figura 17 – Resultados do pós-teste Sterman 2010 74
Figura 18 – Questionário Loja de departamentos 75
Figura 19 – Ilustração de resposta correspondente a heurística correlacional 76
Figura 20 – Modelo esquemático das operações descritas 82
Figura 21 – Modelo esquemático das operações descritas 83
Figura 22 – Solução do problema por meio de "esquemas" (*chunks*) 84
Figura 23 – Sumário de testes aplicados na fase exploratória 88
Figura 24 – Delineamento experimental do presente estudo 90
Figura 25 – Protocolo Loja de departamentos 92
Figura 26 – Protocolo da Floresta 93
Figura 27 – Proposição do problema PBL – PBL1 95
Figura 28 – Proposição do problema PBL – PBL2 95
Figura 29 – Cronograma de atividades e entregas PBL 1 96
Figura 30 – Cronograma de atividades e entregas PBL 2 97
Figura 31 – Resultados dos testes da fase exploratória. 99
Figura 32 – Teste de independência nas respostas para as variáveis representação gráfica do deslocamento acumulado e iteração de diferenças cálculo 100
Figura 33 – Teste de independência nas respostas para as variáveis representação gráfica de velocidade função degrau e iteração de diferenças lógica correta 101
Figura 34 – Teste de independência nas respostas para as variáveis iteração de diferenças lógica de cálculo e representação gráfica de velocidade função constante.102
Figura 35 – Teste de independência nas respostas para as variáveis iteração de diferenças lógica de cálculo e representação gráfica de diferença de velocidades.....102
Figura 36 – Ilustração de resposta correspondente à heurística correlacional 106
Figura 37 – Dificuldade de representação da função degrau 107
Figura 38 – Dificuldade em representar fluxos (velocidades) negativos 108
Figura 39 – Representação gráfica elaborada a partir da plataforma Microsoft Office...109
Figura 40 – Teste de McNemar para os estudantes submetidos ao tratamento PBL1.....112
Figura 41 – Teste de McNemar para os estudantes submetidos ao tratamento PBL2.....113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição de amostra 161 respondentes 90
Tabela 2 – Composição de amostra 94
Tabela 3 – Resultados do questionário de iterações e integrações 98
Tabela 4 – Resultados do questionário de loja de departamentos/floresta 103
Tabela 5 – Resultados do questionário da loja de departamentos 104
Tabela 6 – Resultados do questionário da floresta 104
Tabela 7 – Resultados do pós-teste – questionário de loja de departamentos/floresta... 110
Tabela 8 – Comparativo dos resultados corretos do pré-teste e pós-teste 111
Tabela 9 – Comparativo dos resultados do pré-teste e do pós-teste questões 3 e 4 corretas por tipo de tratamento 111

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13
1.1 LACUNA DE CONHECIMENTO 19
1.2 OBJETIVO GERAL 19
1.2.1 Objetivos específicos 20
1.3 QUESTÃO DE PESQUISA 20
1.3.1 Relevância da questão 20
1.4 CONTRIBUIÇÃO TEÓRICA E METODOLÓGICA 22

2 REFERENCIAL TEÓRICO 23
2.1 ABORDAGENS SISTÊMICAS 23
2.2 METODOLOGIAS DE SISTEMAS 30
2.3 O QUE É PENSAMENTO SISTÊMICO E PORQUE É IMPORTANTE? 33
2.4 ELEMENTOS DO PENSAMENTO SISTÊMICO 37
2.5 APRENDIZAGEM EXPERIENCIAL 38
2.5.1 O modelo de aprendizagem de Piaget 40
2.5.2 Características da aprendizagem experiencial 43
2.6 APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS 45
2.6.1 Fundamentação no modelo construtivista 45
2.7 ESTUDOS ANTERIORES 50
2.8 UMA ABORDAGEM ALTERNATIVA 75

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 80
3.1 PRESSUPOSTOS 80
3.2 DETALHAMENTO DO PROBLEMA 81
3.3 METODOLOGIA DA PESQUISA 85
3.3.1 Procedimentos exploratórios 87
3.3.2 Delineamento experimental 90
3.3.3 Protocolos de teste 91
3.3.4 Amostra 93
3.3.5 Tratamento PBL – O sistema Cantareira 94

4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS 98
4.1 RESULTADOS DA FASE EXPLORATÓRIA 98
4.2 QUASE-EXPERIMENTO RESULTADOS DO PRÉ-TESTE 103

4.3 QUASE-EXPERIMENTO RESULTADOS DO PÓS-TESTE 110

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 114

REFERÊNCIAS 118

ANEXO A – Termos relacionados à complexidade..... 124

APÊNDICE A – Questionário de iterações e integrações 126

APÊNDICE B – Questionário de teste iteração e integração no domínio do tempo..... 141

APÊNDICE C – Apresentação do PBL Gestão de Recursos 144

1 INTRODUÇÃO

Diante do ritmo de mudança imposto pela redução dos ciclos de vida dos produtos, da aceleração da inovação em tecnologias e processos, do impacto da competição mundial, da limitação dos recursos não renováveis e do aumento da poluição, coloca-se a questão: estão os estudantes em geral e, em particular, os futuros líderes de negócios sendo preparados adequadamente para lidar com essa realidade complexa? (ATWATER; KANNAN; STEPHENS, 2008).

Os desafios impostos pela exigência de um desenvolvimento sustentável e a necessidade de soluções inovadoras requerem novas formas de pensar e de agir sobre a realidade que incorporem uma perspectiva sistêmica, capaz de levar em conta as interações entre os múltiplos atores de um sistema complexo em rápida mutação, os efeitos no decorrer do tempo dessas ações sobre os sistemas sociais e o clima, e os recursos limitados do planeta e, ainda, pensar de forma crítica sobre os paradigmas e referências que são utilizados para a autorregulação ou autorreforço destes sistemas complexos. Há mais de vinte anos Vergara e Branco alertavam para “A necessidade de uma visão de totalidade por parte dos administradores em oposição a uma visão de mundo reducionista e fragmentada” (VERGARA; BRANCO, 1993, p. 20). Como definir programas educacionais que sejam capazes de preparar os futuros dirigentes para essa nova realidade, tem sido uma questão abordada por diversos pesquisadores (STEINER; WELLS, 2000; MINTZBERG; GOSLING, 2002; PFEFFER; FONG, 2002; GHOSHAL, 2005; BENNIS; O’TOOLE, 2005).

Frequentemente, de forma involuntária, muitos erros são cometidos nas decisões de gestores (ATWATER; KANNAN; STEPHENS, 2008) que decorrem de vieses de pensamento "naturais" (KAHNEMAN; TVERSKY, 1977): problemas recorrentes são atribuídos a desempenhos individuais, sem perceber a estrutura que os condiciona; recursos são exauridos pela incapacidade de inferir a sua evolução ao longo do tempo; organizações e países envolvem-se em escaladas irracionais que provocam grandes prejuízos, pela miopia que ignora a realimentação entre os elementos de um sistema e do ambiente sobre os sistemas abertos. Muitas vezes, as pessoas procurando resolver um problema o tornam pior e muitas políticas podem criar efeitos colaterais que não foram previstos, gerando instabilidade nos sistemas que se pretendia estabilizar, provocando grandes prejuízos (STERMAN, 2000).

Neste estudo, parte-se da constatação de que algumas dessas perdas já conhecidas são grandes o bastante para tornar relevante e justificar uma investigação a respeito dos elementos

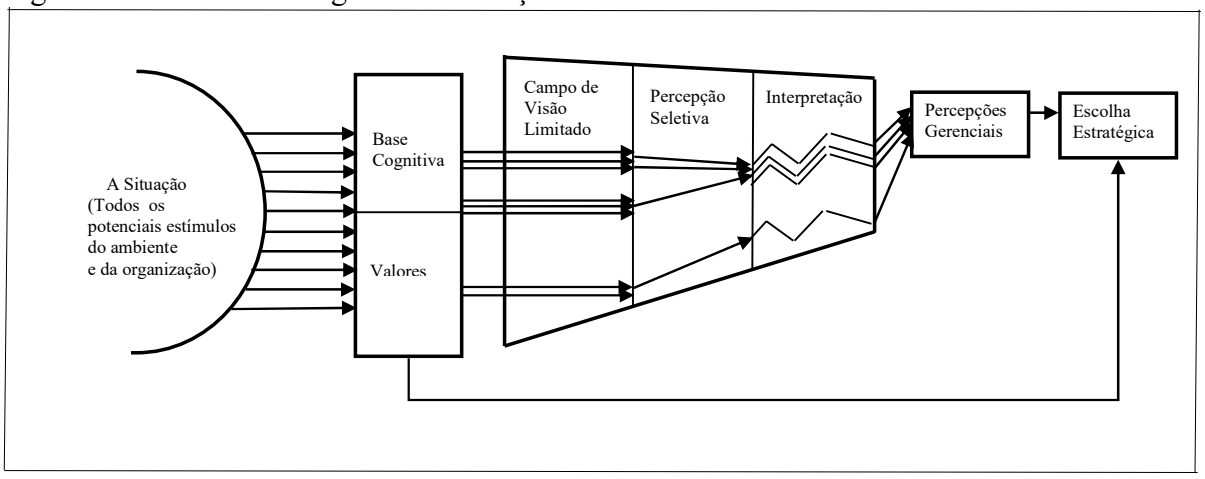
que devem nortear a formação de gestores capazes de lidar com a complexidade desses problemas.

Os desafios da gestão organizacional diante de demandas crescentes de responsabilidade social e sustentabilidade exigem dos futuros dirigentes uma nova forma de abordar os problemas e uma nova atitude, capaz de aprimorar de forma contínua os modelos mentais que servem de base para a tomada de decisão. A proposição do presente estudo é que alguns dos elementos necessários à compreensão da dinâmica de sistemas complexos, capazes de incorporar e integrar as dimensões econômica, social e ambiental da sustentabilidade nas organizações, podem ser obtidos mediante o desenvolvimento da capacidade de pensar sistemicamente. Isto implica numa mudança de paradigma e no desenvolvimento de novos repertórios para "ler" o ambiente e agir sobre ele e para lidar com um mundo em transformação, que hoje se apresenta como um sistema fortemente acoplado.

No modelo de seu artigo seminal, Hambrick e Mason (1984) indicaram que, ao tomar decisões, os executivos são influenciados por seus valores e fazem uso de sua base cognitiva, que envolve: o conhecimento, ou pressupostos, a respeito de eventos futuros, o conhecimento de alternativas viáveis e o conhecimento das consequências dessas alternativas. Essa base cognitiva afeta a seleção de estímulos do ambiente, a interpretação da informação e orienta preferências ao realizar as escolhas envolvidas no processo de tomada de decisão. A Figura 1 ilustra o modelo elaborado por esses autores.

O modelo da Figura 1 mostra a escolha estratégica em situações complexas, onde decisores lançam mão de sua base cognitiva e de seus valores para selecionar e interpretar os estímulos do ambiente.

Figura 1 - Escolha estratégica sob condições de racionalidade limitada.



Fonte: Hambrick e Mason, 1984, p. 195 (Tradução nossa).

A seleção e interpretação dos estímulos do meio são influenciadas pelo repertório da base cognitiva e dos valores dos executivos. Para Hambrick e Mason (1984), os executivos combinam sua percepção da situação com seus valores quando realizam suas decisões. No modelo desses autores os valores afetam tanto a percepção dos estímulos do meio, quanto, a escolha estratégica. Para Guth e Tagiuri (1965), também, os valores individuais dos gestores são determinantes importantes nas decisões estratégicas. D'Acosta Rivera, Domenico e Sauaia (2014) verificaram a influência da dissimilaridade de alguns tipos de valores nos resultados de times de alta gerência em estudo realizado em laboratório de gestão.

Se for levado em conta que, tanto a seleção e interpretação de estímulos, quanto a tomada de decisão dos executivos dependem da base cognitiva e dos valores dos executivos, isto é, diretamente dos seus modelos mentais e das representações que utilizam para abordar os problemas, é relevante que estes modelos sejam capazes de propiciar uma compreensão abrangente das inter-relações envolvidas num sistema.

Os modelos mentais mais frequentes utilizados ao longo da formação escolar e a própria estrutura de linguagem empregam formas de representação da causalidade, associadas às inferências lógicas básicas (*modus ponens* e *modus tollens*) consideradas de forma unidirecional e representadas normalmente por implicações de forma linear (➔). Esses modelos também estão fortemente condicionados pelo paradigma conceitual da ciência formulado por Galileu (BERTALANFFY, 1972) como método resolutivo, que reduz fenômenos complexos a partes e processos elementares, que é admiravelmente eficaz quando os eventos podem ser divididos em cadeias causais isoláveis, quando envolvem duas ou poucas variáveis e são relativamente estáveis no tempo, condições cada vez mais raras no mundo contemporâneo das organizações.

A prática educativa atual, em grande parte das instituições de ensino no Brasil, condiciona os estudantes a pensarem em eventos isolados e nos efeitos de interesse imediato como resultantes de um processo de causalidade unidirecional. Nesse modelo de causalidade unidirecional, os futuros gestores são levados a ignorar, a realimentação do ambiente sobre o qual atuam, são levados, ainda, a desconsiderar aqueles efeitos que não correspondem ao objetivo imediato a tal ponto que são denominados "externalidades" em economia e "colaterais" em outras áreas de estudo. Esta postura tem como fundamento uma base epistemológica que cinde sujeito e objeto (MORIN, 2000), uma visão operativa que desconsidera a estrutura dos sistemas, as interações entre suas partes, o seu comportamento ao longo do tempo e a sua relação com o ambiente, paradigma talvez, adequado, para estudar a mecânica clássica que hoje, no entanto, depois do princípio da incerteza de Heisenberg formulado em 1927, ou do efeito Rosenthal em psicologia em 1968, não mais se sustenta, nem na própria ciência física.

> Uma crítica específica aos currículos de graduação em administração é a falta de integração curricular, a falta de interligação entre as disciplinas e a falha em fomentar nos estudantes uma compreensão a respeito de como as diversas partes da organização trabalham em conjunto (ATWATER; KANNAN; STEPHENS, 2008, p.10, tradução nossa).

Críticas específicas ao currículo de formação de administradores é que eles são funcionalmente disjuntos, enfatizam "ferramentas" específicas para a solução de problemas, ao invés de conhecimento teórico transferível, utilizam uma perspectiva onde as interações humanas são vistas apenas como transações e têm como pressuposto exclusivo o retorno ao acionista (GODFREY; ILLES; BERRY, 2005).

Muitas universidades modificaram seus currículos procurando integrar diversos conteúdos na busca de uma visão mais ampla por meio da transdisciplinaridade, no entanto, o paradigma conceitual que condiciona os modelos mentais utilizados permanece o mesmo na ausência de novas formas de representação. Em resposta às críticas de que as escolas não preparam os estudantes para essa nova realidade, algumas escolas têm tentado adaptar seus currículos. Atwater, Kannan e Stephens (2008, p. 9, tradução nossa) sugerem que "o ingrediente primário que falta a essas tentativas é um tratamento compreensivo do pensamento sistêmico".

O exercício nos elementos que constituem o pensamento sistêmico é necessário para abordar uma realidade complexa, interconectada e mutante, se o que se deseja é desenvolver nos futuros líderes de organizações novas formas de representação que possibilitem o aprimoramento contínuo dos modelos mentais. Tal aprimoramento se desenvolve pela consideração das interações entre os elementos do sistema e sua relação com o ambiente; pela representação dos elos de realimentação do ambiente e entre os elementos do próprio sistema; pela possibilidade de levar em conta as referências (objetivos), que são utilizados para autorregular ou autorreforçar o comportamento do sistema; e, em especial, pela possibilidade de analisar o comportamento do sistema ao longo do tempo.

A ausência de modelos mentais que utilizem essas formas de representação se evidencia quando se verifica a dificuldade de muitos alunos formados nas melhores escolas do país em perceber os efeitos que decorrem de decisões envolvendo um simples planejamento de reposição de estoques desconsiderando os efeitos dos atrasos nas informações (p. ex. "efeito chicote") (STERMAN, 2000). Essa carência de formas de representação também se manifesta na dificuldade de diretores e gerentes quando elaboram, numa organização, um plano de implantação de mudanças que não considera as reações das partes interessadas.

Em particular, verifica-se que a maioria dos estudantes universitários têm dificuldades em estimar a evolução ao longo do tempo das variáveis de estado de um sistema (p. ex., um

estoque de recursos em função de seus fluxos de entrada e de saída). Esta questão é de fundamental relevância em diversas situações que os gestores encontram, pois tem inúmeras aplicações nas áreas de estratégia, engenharia, administração e na área ambiental. A constatação dessa dificuldade levou diversos teóricos a realizarem pesquisas no que veio a ser conhecido como a "falha de estoque-fluxo" ou o "problema da acumulação" (SWEENEY; STERMAN, 2000; STERMAN; SWEENEY, 2002; STERMAN, 2002; PALA; VENNIX, 2005; CRONIN; GONZALEZ, 2007; CRONIN; GONZALEZ; STERMAN, 2009). Esses teóricos encontraram resultados que mostram de forma consistente um desempenho pobre diante de problemas que envolvem relações simples entre estoques e fluxos, mesmo para estudantes com sólida formação em ciências exatas e matemática, de escolas americanas de administração de negócios de grande renome. Em particular Cronin, Gonzalez e Sterman (2009) constataram um viés sistemático que denominaram "heurística da correlação", que significa que as respostas de um grande número de alunos associam diretamente o comportamento do estoque à forma do comportamento do fluxo dominante.

Dado que, mesmo para pessoas altamente educadas "com treinamento substancial em ciências, tecnologia, engenharia e matemática, problemas simples de estoque e fluxo (SF) são difíceis e anti-intuitivos" (STERMAN, 2010, p. 316), a falha de estoque-fluxo tem sido repetidamente utilizada como um questionário, isto é, como forma de avaliar o desenvolvimento de alguns dos elementos que compõem o pensamento sistêmico.

Por sua importância, o desempenho dos estudantes na solução de problemas que envolvem estoque-fluxo tem sido estudado por diversos pesquisadores (SWEENEY; STERMAN, 2000; CRONIN; GONZALEZ; STERMAN, 2009; CRONIN; GONZALEZ, 2007; STERMAN, 2002; STERMAN; SWEENEY, 2002; PALA; VENNIX, 2005). Estes problemas testam a proficiência na estimativa, ou determinação do comportamento, de uma variável cuja evolução depende de seus estados anteriores e dos fluxos de entrada e saída que afetam essa variável, isto é, a evolução da variável de estado de um sistema em função de operações sucessivas que afetam essas variáveis e que ocorrem no domínio do tempo. As pesquisas revelam que a maioria das pessoas tem dificuldade para inferir corretamente o comportamento de um "estoque" a partir do seu estado inicial e do comportamento de suas entradas e saídas. No experimento original de Sweeney e Sterman (2000) estudantes da *Sloan School* do *Massachusetts Institute of Technology*, tiveram um desempenho surpreendentemente baixo; menos da metade respondeu corretamente (SWEENEY; STERMAN, 2000).

Tendo em vista esses resultados, Cronin, Gonzalez e Sterman (2009), analisaram a melhoria de desempenho dos estudantes no problema da acumulação testando diversas

hipóteses na tentativa de compreender o fenômeno e verificar suas implicações para o ensino em Administração. Por meio de uma série de experimentos, os autores verificaram a variação de desempenho dos estudantes quando se simplifica a tarefa, quando se muda a apresentação dos dados na forma de tabela ou de texto, quando se trata de quantidades discretas representadas por gráficos de barras (ao invés de linhas), quando se apresenta o problema dentro de um contexto mais "familiar" aos estudantes, quando se associa uma motivação para melhorar o desempenho, quando os estudantes recebem feedback diante de respostas equivocadas e quando os estudantes são preparados previamente para notar a presença e o comportamento de estruturas de fluxos e estoques. Trabalho recente desenvolvido por Cronin, Gonzalez e Sterman (2009) mostra que o desempenho permanece pobre, mesmo para tarefas mais simples, para diversas formas de apresentação de dados e modos de resposta (STERMAN, 2010).

> Em uma série de experimentos nós demonstramos que uma compreensão pobre da acumulação, denominada falha de estoque-fluxo, é um erro fundamental de raciocínio. A persistência de desempenho pobre não pode ser atribuída à inabilidade de interpretar gráficos, falta de conhecimento contextual, motivação ou capacidade cognitiva. Ao invés disso, a falha de estoque-fluxo é um fenômeno robusto que parece estar enraizado na falha de perceber os princípios mais básicos da acumulação conduzindo ao uso de heurísticas inapropriadas (CRONIN; GONZALEZ; STERMAN, 2009, p.116, tradução nossa).

Cronin, Gonzales e Sterman (2009) concluem que a falha estoque-fluxo é um fenômeno robusto cuja raiz reside na incapacidade de compreender os princípios mais básicos do problema da acumulação, o que leva a utilizar uma heurística inapropriada, denominada heurística de correlação, assumindo erroneamente que o comportamento do estoque coincide com o padrão de comportamento de seus fluxos.

Esses autores demonstram que a maioria das respostas equivocadas é consistente com o uso da heurística da correlação, mesmo sendo inconsistentes com princípios básicos da acumulação e, ainda, que a frequência de uso dessa heurística aumenta quando o comportamento do fluxo se torna mais complexo (deixa de ser linear).

> Trabalhos anteriores claramente estabelecem uma ampla falha de compreensão dos princípios fundamentais da acumulação. As pessoas falham em perceber que a quantidade de qualquer estoque, como o nível de água em uma banheira, aumenta (diminui) quando o fluxo de entrada é maior (é menor) que o fluxo de saída. Ao invés disso, as pessoas frequentemente pensam que a saída do sistema está positivamente correlacionada com suas entradas [...]. Cronin et al. (2009) denotam este comportamento a heurística da correlação e mostram que essa forma de raciocínio é comum a uma larga faixa de tarefas de estoque-fluxo. (STERMAN, 2010, p.317, tradução nossa).

1.1 LACUNA DE CONHECIMENTO

Na conclusão do seu estudo, Cronin, Gonzalez e Sterman (2009) propõem que os estudos futuros investiguem os mecanismos que inibem ou disparam o uso da heurística da correlação e o aprendizado e aplicação da estrutura profunda do problema para verificar como os estudantes constroem as representações mentais na medida que tratam de descobrir as relações entre estoques e fluxos.

Eles sugerem que ambientes interativos de tomada de decisão podem ser particularmente úteis na investigação da falha de estoque-fluxo, tanto para verificar como os estudantes tomam decisões, quanto para acelerar a aprendizagem (GONZALEZ; DUTT, 2007; STERMAN, 2002). As pesquisas devem também explorar em que medida a falha de estoque-fluxo pode estar sendo reforçada pelo sistema educacional.

Na mesma direção Sterman (2010) propõe:

> O artigo fecha com a sugestão de experimentos adicionais para aprofundar nosso conhecimento do currículo e da pedagogia necessários para desenvolver nos estudantes a compreensão intuitiva da acumulação (STERMAN, 2010, p.317). Para desenvolver a compreensão nestas questões, novos estudos devem explorar o processo de raciocínio, por meio, por exemplo, de protocolos verbais (STERMAN, 2010, p.332, tradução nossa).

A compreensão intuitiva proposta por Sterman, "Como em todo estoque, o número de pessoas na loja aumenta (diminui) quando o fluxo de entrada excede (é menor) que o fluxo de saída" (STERMAN, 2010, p. 318), guarda estreita semelhança com o argumento das crianças que, ao atingirem o estágio de conservação do volume nos experimentos de Piaget, quando expostas ao transvasamento de um líquido de um vidro alto e estreito para outro largo e baixo concluem pela igualdade dos volumes "Sim, não se fez mais nada que despejar" (PIAGET; SEMINSKA, 1971, p.41).

É nesta linha de pesquisa que se insere o presente estudo cujo objetivo é apresentado a seguir.

1.2 OBJETIVO GERAL

O presente projeto tem como objetivo geral aprofundar a compreensão para o fraco desempenho observado dos estudantes no problema do estoque-fluxo e testar uma abordagem baseada na aprendizagem experiencial e sua fundamentação construtivista para melhorar o desempenho dos estudantes diante desse problema.

1.2.1 Objetivos específicos

a) Decomposição do problema da acumulação em suas operações elementares;
b) Caracterizar o pensamento sistêmico e seus elementos;
c) Replicação do experimento sobre o problema da acumulação;
d) Desenvolvimento de práticas de aprendizagem que propiciem o exercício operatório necessário para desenvolver a proficiência na utilização dos elementos do pensamento sistêmico necessários para a solução do problema da acumulação;
e) Desenvolvimento de instrumentos de avaliação;
f) Elaboração de Delineamento experimental para testar o efeito da aprendizagem experiencial

1.3 QUESTÃO DE PESQUISA

A aprendizagem experiencial, fundamentada na teoria construtivista, pode facilitar o desenvolvimento da compreensão intuitiva da estrutura do problema da acumulação, diminuindo a ocorrência da falha de estoque-fluxo?

Especificamente:

a) A aprendizagem experiencial, envolvendo os conceitos de iteração, função diferença e integração e sua representação gráfica, melhora o desempenho dos estudantes no problema da acumulação?

1.3.1 Relevância da questão

O pressuposto subjacente a esta pesquisa, conforme explicitado na introdução, é que a educação das novas gerações de Administradores deve propiciar as condições para que os estudantes desenvolvam as habilidades necessárias para pensar sistemicamente. É preciso que os futuros gestores desenvolvam a capacidade de perceber como as inter-relações entre as partes de um sistema condicionam o seu comportamento, que sejam capazes de identificar e representar os mecanismos de realimentação que regulam ou reforçam esses comportamentos e, também, os efeitos “colaterais” de decisões gerenciais. Importa, ainda, que sejam capazes de reconhecer e avaliar os objetivos (ou referências) que são usados para controlar o desempenho de sistemas e organizações e, além disso, que sejam capazes de inferir como as variáveis de interesse evoluem ao longo do tempo. Entre esses elementos, o presente estudo concentra-se na

análise do desempenho de estudantes em relação aos conceitos de fluxo e estoque no que veio a ser conhecido como o problema da acumulação (ou falha de estoque-fluxo), isto é, como um estoque (de recursos, de materiais, de clientes) evolui em função do tempo, dados os fluxos de entrada e de saída a ele associados.

Esse problema tem inúmeras aplicações, nas áreas de estratégia, de engenharia, de administração e na área ambiental, entre outras. Aplica-se, por exemplo, à quantidade de clientes numa loja, à previsão de fluxo de caixa, aos estoques com reposição, a presas e predadores, ao nível de represas (p. ex. às represas do Sistema da Cantareira), ao acúmulo de CO_2 na atmosfera, ao pasto numa reserva natural, à tragédia dos comuns e, também de forma qualitativa, à definição de cenários estratégicos sucessivos. Aplica-se, ainda, à acumulação de recursos que podem definir a vantagem competitiva e, em última análise, um desempenho superior de uma organização (MORECROFT, 2002). O Quadro 1 ilustra algumas atividades comuns a diversas áreas onde o problema da acumulação encontra aplicação.

Quadro 1 – Aplicações e áreas que envolvem o problema da acumulação

APLICAÇÕES	ÁREA
a) Fluxo de caixa	Financeira /Empreendedorismo
b) Gestão de estoque	Produção/Varejo / Logística
c) Previsão de demanda	Logística/Marketing
d) Planejamento de produção	Produção/Logística
e) Rotatividade e reposição de recursos humanos	Administração geral/Estratégia
f) Reposição e consumo de recursos naturais	Políticas ambientais/Sustentabilidade
g) Acumulação de $C0_2$ na atmosfera	Sustentabilidade/Políticas públicas
h) Reservatórios de abastecimento	Sustentabilidade/Políticas públicas
i) Cadeia de suprimentos	Logística/Varejo/Distribuição
j) Gestão de filas em atendimento	Serviços/Comércio
k) Fluxo de clientes num estabelecimento	Serviços /Comércio
l) Superávit Primário	Gestão Pública

Fonte: Autor

É importante salientar que, além das inúmeras aplicações que o problema encontra em diversas áreas do conhecimento, é necessário incorporar modos de pensar capazes de dar conta de pelo menos dois elementos da nova realidade a saber: o aumento exponencial das transações entre atores de sistemas interligados e a aceleração das mudanças, isto é, de uma nova realidade fortemente interconectada e mutante. Estes dois aspectos, para serem levados em conta de

forma minimamente aceitável, devem incorporar novas formas de representação que forneçam modelos adequados à nova dinâmica, principalmente, quando a aceleração destas mudanças e a multiplicação destas interações podem, em casos extremos, levar ao esgotamento de recursos essenciais para sobrevivência da espécie humana.

1.4 CONTRIBUIÇÃO TEÓRICA E METODOLÓGICA

Com a abordagem proposta, o presente estudo se propõe a prover as seguintes contribuições: a) o problema de estoque-fluxo, detectado num contexto de dinâmica de sistemas é situado dentro de uma perspectiva ampla do pensamento sistêmico; b) o problema é trazido para o campo de ensino e analisado no contexto das inúmeras áreas em que ele se aplica; c) mediante uma análise detalhada do problema, são explicitadas operações elementares e as coordenações necessárias para a solução do problema; d) a partir dessa análise, o problema é examinado à luz de teoria de aprendizagem da linha construtivista apresentando uma interpretação baseada no isomorfismo de problemas de aprendizagem de etapas anteriores do desenvolvimento de Piaget, como os das operações concretas e do pensamento formal; e) endereçando os elementos específicos dessas etapas de desenvolvimento, isto é, a dificuldade de coordenar (operar simultaneamente) diversos processos, em função da falta de exercício operatório, é derivada uma prática de ensino baseada na teoria explicativa e testada sua eficácia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A falha de estoque-fluxo deve ser situada dentro de um quadro de referência mais amplo do pensamento sistêmico que, como será visto neste capítulo, pode ser caracterizado a partir de três elementos: a) pensamento sintético; b) pensamento em malha fechada e c) pensamento dinâmico. O pensamento dinâmico refere-se à habilidade de inferir como um sistema e seus elementos se comportam ao longo do tempo.

Considerada a partir dessa perspectiva, a falha de estoque-fluxo evidencia a dificuldade dos estudantes de inferir o comportamento futuro de um estoque a partir dos seus fluxos de entrada e saída. Se em muitos casos o problema da acumulação pode ser resolvido por meio de um sistema com realimentação negativa de primeira ordem, isto não é verdade em sistemas complexos, onde o controle sobre os fluxos é, muitas vezes, precário ou inexistente, como no caso dos sistemas sociais e ambientais.

Apesar de sua importância, o pensamento sistêmico está associado a definições imprecisas, e isso constitui uma das principais dificuldades na elaboração de programas de aprendizagem capazes de estimular o seu desenvolvimento. Como será visto adiante, surtos de interesse por sistemas complexos ocorreram em épocas diversas (SIMON, 1996), dando origem a termos como holismo, visão da totalidade, cibernética, pensamento sistêmico, sistemas adaptativos complexos, entre outros, algumas vezes carregados de conotações ideológicas e até místicas.

Importa, portanto, caracterizar com clareza o que se entende por pensamento sistêmico, no contexto do presente estudo e identificar os seus elementos constituintes. Desta forma, para dar suporte à discussão subsequente, são apresentados neste tópico um panorama da evolução da perspectiva sistêmica e as categorias teóricas envolvidas nos processos cognitivos englobados no pensamento sistêmico, de forma a clarificar e delimitar o escopo deste estudo.

2.1 ABORDAGENS SISTÊMICAS

A noção de sistema acompanha a origem do pensamento filosófico-científico desde o enunciado Aristotélico “O todo é mais que a soma de suas partes” (BERTALANFFY, 1972, p. 407). Questões relativas a sistemas surgem dentro dos problemas correntes nas ciências, na matemática, na tecnologia e correspondem a problemas que têm sido reconhecidos de forma recorrente e discutidos na linguagem disponível na época. Por outro lado, o modelo conceitual da ciência estabelecido por Galileu e Descartes de isolar fenômenos complexos em partes e

processos elementares tem-se demonstrado extremamente eficaz quando: a) os eventos podem ser divididos em cadeias causais isoláveis; b) há uma relação entre duas ou poucas variáveis; c) os efeitos "colaterais" podem ser ignorados e; d) os fenômenos são estáveis no período de tempo considerado. O sucesso da física e o da tecnologia consagraram esse paradigma científico, de forma que, por muitos ainda, é considerado exclusivo. Com a prevalência deste paradigma, a causa final (teleologia) aristotélica foi eliminada no desenvolvimento da ciência, mas os problemas por ela implicados como o da autopoiese e a orientação para metas e objetivos de organismos e organizações, foram ignorados ao invés de serem resolvidos. No entanto, os problemas de várias variáveis sempre permaneceram e se tornaram muito relevantes quando se trata de organismos ou sistemas complexos. Ao final da década de 1920 von Bertalanffy escreveu:

> Uma vez que a característica fundamental das coisas vivas é sua organização, a investigação usual da divisão em partes e processos não pode fornecer uma explicação completa do fenômeno vital. Esta investigação não nos dá nenhuma informação a respeito da coordenação das partes e processos. As propriedades e modos de ação dos níveis superiores não são explicáveis pela soma das propriedades e modos de ação de seus componentes tomados isoladamente. Se, no entanto, conhecemos o conjunto de componentes e as relações que existem entre eles, então os níveis superiores são deriváveis de seus componentes (BERTALANFFY, 1972, p. 410, tradução nossa).

Após o enunciado do que viria a tornar-se a Teoria Geral dos Sistemas, tiveram lugar desenvolvimentos importantes, os trabalhos de Norbert Wiener (1968) na década de 1940 evidenciaram os mecanismos de realimentação de autorregulação e autorreforço dos sistemas criando novos campos de desenvolvimento teórico e tecnológico em automação, computação e cibernética.

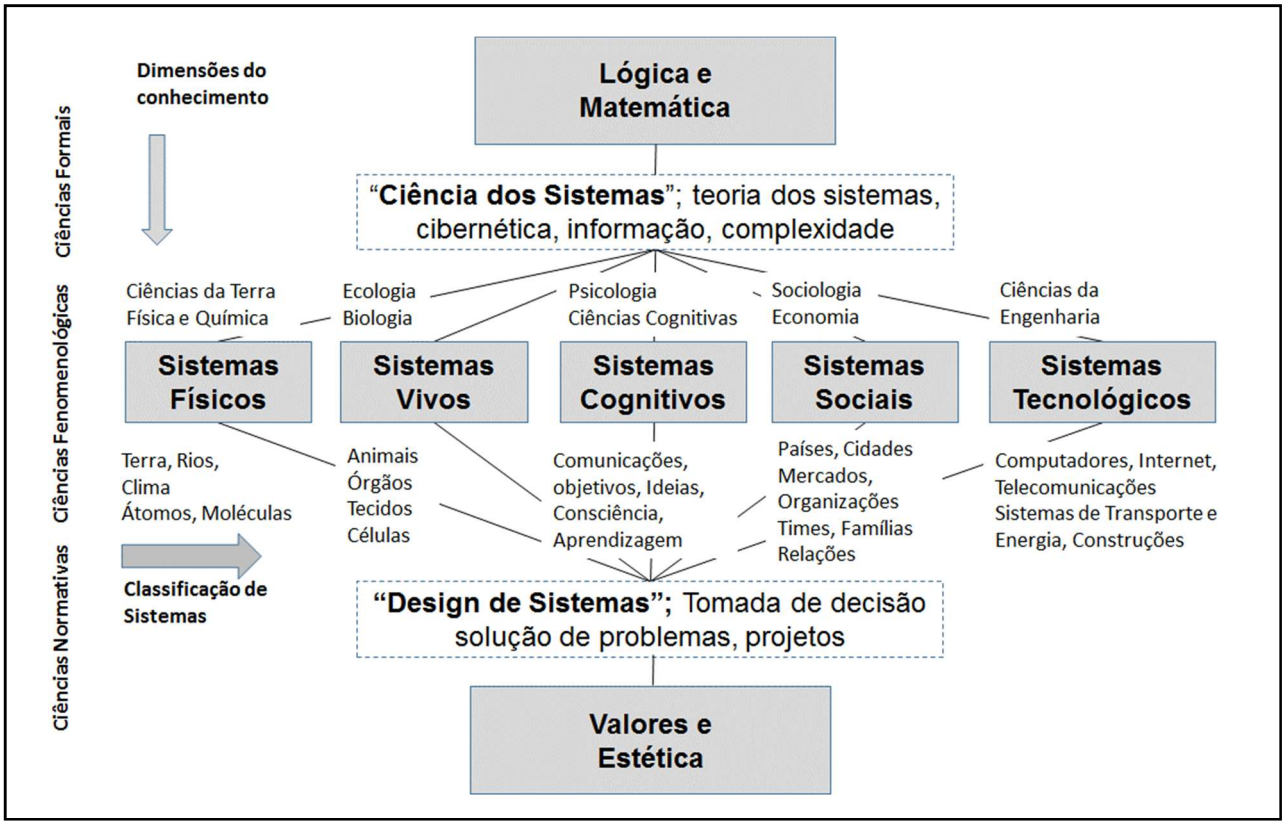
De acordo com Simon (1996), o século vinte assistiu a três ciclos de interesse sobre a complexidade e sistemas complexos, no primeiro tiveram origem o termo Holismo, o interesse na Gestalt e na evolução criativa e tinha forte ênfase na transcendência do todo e era fortemente antirreducionista; no segundo, após o início da segunda guerra mundial, tornaram-se comuns os termos: informação, realimentação (*feedback*), cibernética e sistemas gerais e colocava grande ênfase na autorregulação (homeostase) dos sistemas complexos, no último quarto do século 20, associados à complexidade, apareceram os termos: teoria do caos, sistemas adaptativos complexos, algoritmos genéticos e autómatos celulares, focalizando "principalmente os mecanismos que criam e suportam a complexidade e as ferramentas analíticas para descrevê-los e analisá-los" (SIMON, 1996, p.169). Simon adota uma posição claramente definida em relação ao holismo aderindo a uma interpretação fraca do fenômeno da

emergência, defendendo o reducionismo, mesmo que "nem sempre seja fácil (e muitas vezes, nem mesmo factível computacionalmente) inferir rigorosamente as propriedades do todo a partir do conhecimento das propriedades das suas partes" (SIMON, 1996, p.171). Sobre a relação entre a cibernética e a Teoria Geral dos Sistemas, este autor sintetiza sua posição, concluindo que a teoria da informação explica a complexidade organizada em termos da redução da entropia e que o controle via realimentação (feedback) mostra como um sistema pode: "trabalhar em direção a objetivos e adaptar-se a um ambiente mutante removendo, desta forma o mistério da teleologia" (SIMON, 1996, p. 172, tradução nossa). Para Simon o terceiro ciclo sobre a complexidade mantém muitas das características do segundo, motivado pela necessidade de compreender sistemas em escala mundial como o ambiente, mas para ele este interesse não se manterá vivo por um "período muito longo se **novas formas de pensar** a respeito da complexidade não forem desenvolvidas" (SIMON, 1996, p. 173, grifo nosso).

No Brasil, Borgatti Neto (2008, p.4) reúne sob a denominação de "Complexidade" um novo corpo de conhecimentos, associado aos termos "teoria da complexidade", "ciências da complexidade" e "pensamento complexo" e procura estabelecer a relação desse tema com a Teoria Geral de Sistemas, identificando os "principais pontos em comum, as complementariedades e as diferenças". Esse autor identifica duas correntes vinculadas ao tema, uma mais filosófica – a corrente do pensamento complexo – e a outra, embasada nas ciências naturais, – a corrente das ciências da complexidade, que têm como seus expoentes respectivamente Edgar Morin e os cientistas do "Santa Fe Institute", entre os quais Phillip Anderson e Murray Gell-Man, ganhadores do prêmio Nobel. De acordo com a pesquisa bibliográfica realizada por esse autor, no Brasil, o tema da complexidade relacionado à administração, ainda é pouco explorado, embora alguns termos associados ao tema como: caos, sistemas adaptativos complexos, dinâmica não linear, auto-organização, emergência, transdisciplinaridade, terem-se tornado mais frequentes na literatura. Borgatti Neto (2008) identifica os trabalhos prévios de Wagner Peixoto Paiva "Teoria do caos e as organizações" (Caderno de Pesquisas em Administração do Programa de Pós-graduação em Administração da FEA/USP, 2000), a dissertação de mestrado em 2002 na FEA/USP de Fabrízio Giovanini "As organizações e a complexidade: um estudo dos sistemas de gestão de qualidade" e os livros derivados das teses de mestrado e doutorado respectivamente: "Gestão da mudança: caos e complexidade nas organizações" de Ruben Bauer, publicado em 1999 pela Atlas editora e "Complexidade e organizações: em busca da Gestão Autônoma" de Márcia Esteves Agostinho, publicado em 2003 também pela editora Atlas.

Numa tentativa de fazer frente às questões postas por sistemas e pelo aumento de sua complexidade, novas teorias, metodologias e perspectivas vêm sendo desenvolvidos para compreender e agir sobre problemas associados a sistemas físicos e sociais que afetam o equilíbrio ecológico, as instituições, as relações internacionais, problemas que envolvem um grande número de variáveis e que têm aplicações em diversas áreas de gestão. A diversidade de abordagens, teorias e métodos torna difícil a compreensão e a delimitação do campo de estudo, quando se fala da Ciência dos Sistemas (System Science). Andreas Hieronymi (2013, p.582), estrutura a questão colocando em pauta algumas questões chave: "Quais são o papel, a finalidade e o lugar da Ciência dos Sistemas dentro do quadro do Sistema da Ciência? [...] A Ciência dos sistemas está mais perto da ciência da computação, da gestão, da biologia teórica ou se parece mais com a matemática? " (tradução nossa). Ele apresenta a seguir um mapa que fornece a visão geral da posição que poderia ser atribuída à Ciência dos Sistemas (Figura 2), onde combina cinco categorias de sistemas com cinco dimensões do conhecimento, apresentando classificações, "semelhantes às usadas por M'Pherson e Max-Neef para distinguir sistemas e disciplinas" (HIERONYMI, 2013, p. 582).

Figura 2 – A função de Ciência de Sistemas no Domínio da Ciência

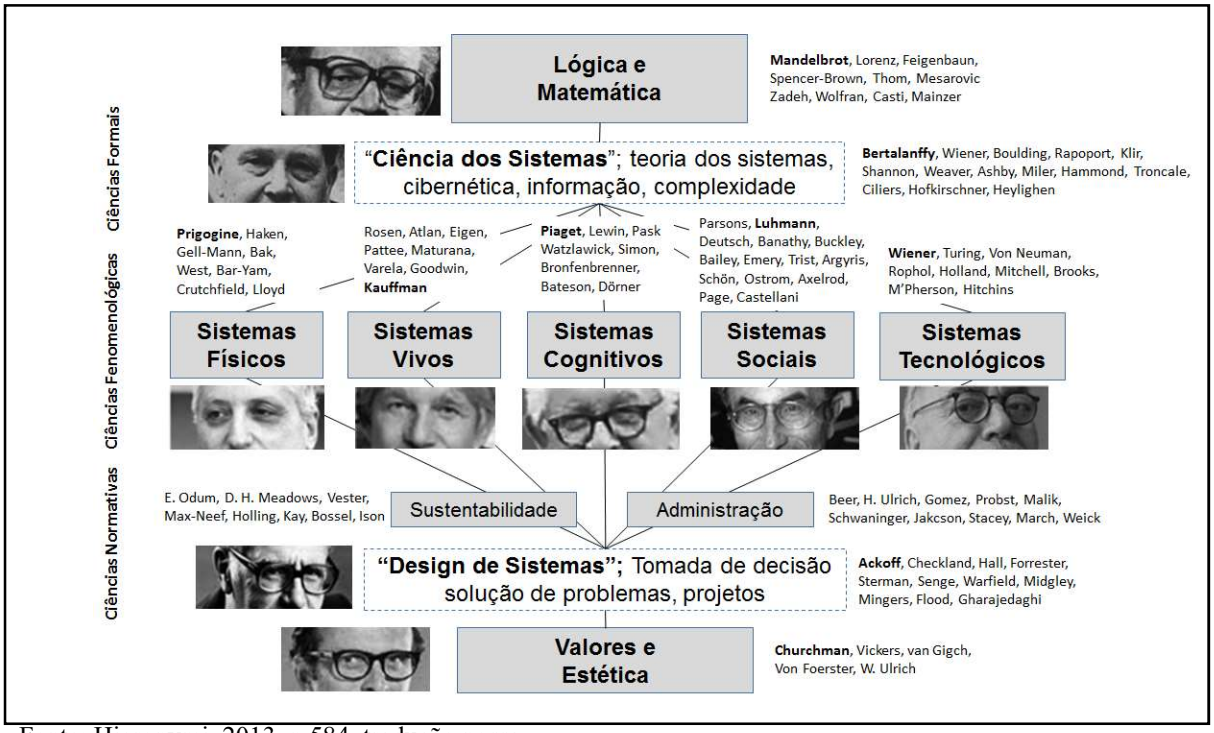


Fonte: Hieronymi, 2013, p.583, tradução nossa

Hieronymi (2013) inclui no eixo vertical dessa figura a “Lógica e Matemática” e “Valores e Estética”, como dimensões formais e normativas do conhecimento, e, ainda, duas áreas adicionais “Ciência dos Sistemas”, situado entre as dimensões formal e fenomenológica do conhecimento e “Design de Sistemas” como o campo, heterogêneo de práticas e métodos, importante no conjunto de ciências aplicadas. Hieornymi argumenta que, vistas dessa forma, essas duas áreas fornecem uma “ponte entre a ciência natural e as humanidades, bem como, entre pesquisa descritiva e prática normativa, contribuindo assim para a inter e a transdisciplinaridade” (HIERONYMI, 2013, p. 583).

A essa estrutura associa os “Pensadores de Sistemas” correspondentes, chamando a atenção para o fato de que os expoentes da “Ciência dos Sistemas” vêm das mais diversas áreas e inclui mais de cem nomes organizados de acordo com as suas principais contribuições a cada campo, sem deixar de notar que muitos deles poderiam ocupar mais de um lugar na Figura 3, sendo que os nomes em negrito correspondem aos pensadores que aparecem nas fotografias (HIERONYMI, 2013). O quadro foi elaborado a partir do conhecimento do autor, adicionalmente incorporou as realimentações recebidas durante duas conferências orientadas a Sistemas.

Figura 3 – “Pensadores de Sistemas” e seus campos na Ciência



Fonte: Hieronymi, 2013, p.584, tradução nossa

Hieronymi (2013), revisa algumas das principais proposições dos pensadores de sistemas, buscando um conjunto de princípios integradores que possam ser aplicados de forma geral aos diversos campos. O Quadro 2 apresenta o conjunto de proposições apresentadas por esse autor. A partir dessas proposições e de uma "extensa revisão na literatura de múltiplos campos do conhecimento" (HIERONYMI, 2013, p. 586) propõe um conjunto de princípios ou características dos sistemas organizados hierarquicamente, de acordo com os quais, segundo o autor é possível classificar o tipo de um sistema de acordo com a sua característica mais proeminente ou o princípio mais alto atingido.

Quadro 2 – Proposições e Autores

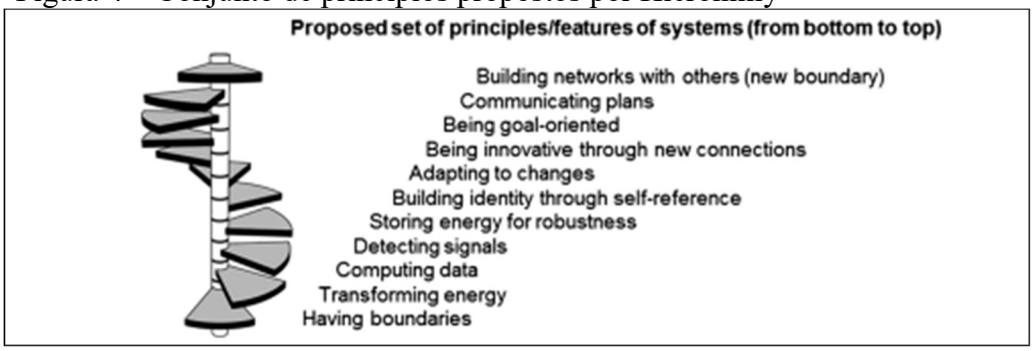
PROPOSIÇOES	AUTORES
A tarefa de uma **teoria geral de sistemas** deveria incluir a definição de sistema, a formulação de uma taxionomia de sistemas, destacar as propriedades que vários sistemas têm em comum, e explicar como esta abordagem nos ajuda a melhor entender nosso mundo.	**RAPOPORT** 1986, p.1
Um campo científico somente pode constituir-se na base de um sistema de conceitos. A **ciência dos Sistemas** não é uma exceção.	**ACKOFF** 1971, p.671
O **conceito de sistema** é um dos conceitos mais amplamente usados na ciência, particularmente em tempos recentes. Ele é encontrado em praticamente todos os campos fundamentais da ciência, tais como, física, química, matemática, lógica, cibernética, economia, linguística, biologia, psicologia, engenharia.	**KLIR** 1965, p. 29
Um **sistema** é um conjunto de objetos junto com suas relações entre os objetos e entre seus atributos.	**HALL; FAGEN** 1956, p.18
[**Sistemas adaptativos complexos**] são sistemas que têm um grande número de componentes, as vezes chamados de agentes, que interagem e se adaptam ou aprendem.	**HOLLAND** 2006, p.1
Hoje nosso principal problema é o de uma **complexidade organizada**. Conceitos como esses, organização, totalidade, direcionamento, teleologia, controle, autorregulação, diferenciação e outros parecidos são estranhos à física. No entanto, eles emergem em todo lugar na biologia, e nas ciências sociais e do comportamento e são, de fato, indispensáveis para lidar com os organismos vivos ou grupos sociais.	**BERTALANFFY** 1956

Fonte: Autor, elaborado a partir de Hieronymi, 2013, p.585

Os princípios por ele postulados (Figura 4) são em ordem hierárquica decrescente: a) Criação de redes com outros (nova fronteira); b) Comunicação de planos; c) Ser orientado a metas; d) Ser inovador por meio de novas conexões; e) Adaptação à mudança; f) Criação de

identidade por meio da auto-referência; g) Armazenamento de energia para robustez; h) Detecção de Sinais; i) Processamento de dados; j) Transformação de energia; k) Têm fronteiras.

Figura 4 – Conjunto de princípios propostos por Hieronimy



Fonte: Hieronymi, 2013, p.586

A seguir esse autor relaciona esses princípios com as subdisciplinas envolvidas na ciência de sistemas na Figura 5, como forma de identificar a influência que estas subdisciplinas tiveram no estabelecimento ou clarificação destes "princípios de sistemas". As "correlações" indicadas são uma sugestão do autor e de discussões levadas a cabo em duas conferências, com outros pesquisadores. O autor admite que as definições são amplas e que existem diferentes visões de como poderiam ser definidas, o que levaria a resultados diferentes, no entanto, se os conceitos e subdisciplinas são organizados de acordo com esta figura as "correlações" (*) indicam uma linha de tendência que se move da base para o topo e da esquerda para a direita indo do canto inferior esquerdo para o canto superior direito, o que, de acordo com Hieronymi (2013), conduz às hipóteses de que o desenvolvimento da Ciência de Sistemas segue um processo no sentido de mudança de paradigma e que esse desenvolvimento tem abordado e clarificado princípios e conceitos com níveis crescentes de complexidade. Borgatti Neto (2008, p. 145) também postula que "mesmo que a efetiva consolidação de um novo paradigma ainda não esteja realmente ocorrendo, tudo leva a crer que o processo de transição passou do seu ponto de retorno".

Figura 5 – Princípios e subdisciplina da Ciência de Sistemas

Tabela Comparativa Princípios de sistemas discutidos nas subdisciplinas da ciência de sistemas	Subdisciplinas								
	Termodinâmica	Teoria de Sistemas Abertos	Teoria da Informação	Cibernética	Teoria da Autopoiese	Teoria do Caos	Teoria da Complexidade	Modelagem (Multi-)Agente	Ciência das Redes
	~1850	~1940	~1945	~1950	~1975	~1980	~1985	~1995	~2000
Princípios de Sistemas (Conceitos)									
Rede, Grupo, Fronteira Emergente							*	*	***
Comunicação, Interação, Cooperação			*	*				***	***
Organização, Orientação para metas, Planejamento				*			*	***	*
Inovação, Criatividade Evolução						*	***	*	*
Adapatação, Ajuste, Resiliência		**		**	*	**	***	*	*
Auto-referência, Identidade,Individualidade					**	***	***	*	*
Robustez, Estabilidade, Manutenção		**		*	***	*	*		
Percepção, Sensores, Realimentação			**	***	*			*	*
Computação, Regras, Processamento de dados			***	**		*	*	*	*
Fluxo de energia, Movimento, Atividade	***	**	*	*	*	*	*		
Fronteira de Sistema, Elementos interligados, Conjunto	*	***				*	*		*

Legenda: Um a três asteriscos (*) indica grau da correlação sugerida entre o campo teórico e os princípios de sistemas propostos.
Fonte: Hieronymi, 2013, p.588, tradução nossa

2.2 METODOLOGIAS DE SISTEMAS

Dentro do escopo deste estudo passa-se a revisar as metodologias utilizadas próximas ao campo da administração destinadas à resolução de problemas e projeto de soluções, como forma de examinar os elementos conceituais envolvidos nessas metodologias.

Os métodos analíticos clássicos funcionam adequadamente quando se trata de problemas bem estruturados, e que podem ser bem delimitados, o mesmo não ocorre diante de problemas não estruturados, com diversos elementos e interações simultâneas entre esses elementos, Hieronymi (2013) relaciona 6 metodologias, apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 – Metodologias de Sistemas próximas ao campo da Administração

Heurística Crítica de Sistemas (Ulrich, 1983)	Envolve considerações detalhadas a respeito de como desenhar os limites quando se consideram sistemas. A questão do que é mais ou menos relevante envolve valores e fatos e pode ter fortes implicações políticas e éticas.

Continua...

Conclusão.

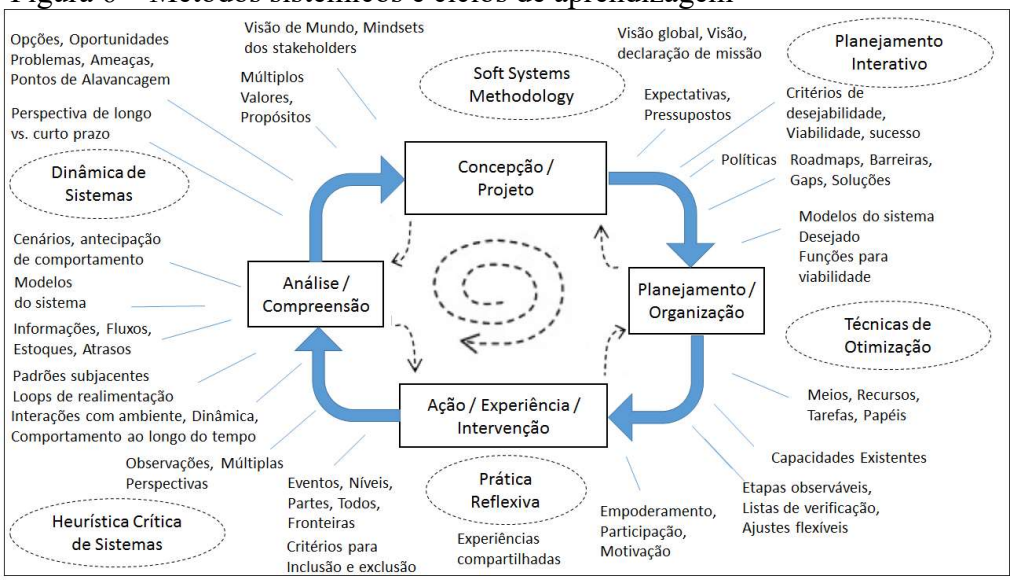
Dinâmica de Sistemas (Forrester, 1971; Sterman 2001)	É um método qualitativo e quantitativo elaborado para compreender, modelar e simular sistemas dinâmicos.
Metodologia de Sistemas Soft (Checkland, 1981)	Auxilia a explorar múltiplas perspectivas, busca a acomodação entre essas perspectivas e define planos que são sistemicamente desejáveis e factíveis.
Planejamento Interativo (Ackoff, 1981)	É uma metodologia que envolve a concepção de um projeto para definir um plano de longo alcance, mas mesmo assim, realizável.
Técnicas de Otimização (Churchman et al., 1957)	Na tradição da pesquisa operacional (OR) são um conjunto de métodos para melhorar a tomada de decisão e a eficiência.
Prática Reflexiva (Schön, 1983)	Enfatiza o processo de aprendizagem contínua e profunda. A boa prática requer reflexão e a boa aprendizagem requer a prática. Em sistemas complexos, é praticamente impossível conseguir uma predição perfeita e planos livres de erros. Torna-se crucial aprender por meio da interação direta com o respectivo sistema.

Fonte: Hieronymi, 2013, p.591, tradução nossa

Hieronymi (2013) propõe uma nova forma de visualizar, interconectar e explicar métodos sistêmicos e aspectos de diversas metodologias, a proposta está reproduzida na Figura 6. De acordo com o autor, esse resumo não é exaustivo e ele o relaciona com os ciclos de aprendizagem representados pela espiral no centro da figura.

Ele associa os quatro estágios a conceitos derivados da pesquisa ação de Kurt Lewin (1946), a aprendizagem experiencial de Kolb (1983), a prática reflexiva de Schön (1983) e a investigação apreciativa de Cooperrider e Srivasta, (1987). Embora essa figura apresente elementos conceituais de diversas ordens, tem o mérito de sintetizar em uma figura dezenas de termos que são comumente encontrados na revisão da literatura relativa às ciências dos sistemas. O Anexo A, apresenta compilação semelhante elaborada por Borgatti Neto (2008) na forma de Quadro.

Figura 6 – Métodos sistêmicos e ciclos de aprendizagem



Fonte: Hieronymi, 2013, p.590, tradução nossa

Tomando como base as referências estabelecidas por Hieronymi (2013), nas figuras três e quatro, pode-se definir o escopo do presente estudo de uma forma visual, como ilustrado na Figura 7, o foco de nosso estudo situa-se na interface do bloco designado como "Design de Sistemas" (Figura 7) com os blocos de Sistemas Cognitivos e Sociais e procura investigar questões relativas ao ensino no campo de administração, especificamente para a capacidade dos futuros líderes de negócio de inferir a evolução de um sistema ao longo do tempo, habilidade indispensável diante de uma nova realidade mutante e interconectada, procurando explicar o baixo desempenho de estudantes no "problema da acumulação" baseado em teorias desenvolvidas no campo de Sistemas Cognitivos.

Figura 7 – Escopo e foco do presente estudo

Fonte: Autor "adaptado" de Hieronymi, 2013, p. 584, tradução nossa

2.3 O QUE É PENSAMENTO SISTÊMICO E PORQUE É IMPORTANTE?

Em resposta aos ciclos de interesse sobre sistemas complexos corresponderam desenvolvimentos oriundos de tentativas independentes de resolver problemas de ordens diversas, que vão da Biologia à Teoria da Informação e Controle, gerando não apenas novos termos, mas também novas tecnologias e representações conceituais.

Sistemas complexos e pensamento sistêmico têm inúmeras definições. Para sistemas complexos será adotada a definição de Herbert Simon pela sua simplicidade e abrangência e por evidenciar os elementos essenciais para sua compreensão: **"**Por **sistemas complexos**, eu entendo um constituído de um grande número de partes que têm muitas interações" (SIMON, 1996, p.183). Sendo que, diante de alguns sistemas, "grande número" pode ser entendido como sendo apenas três (p. ex. o problema dos três corpos, envolvendo a interação gravitacional de três massas e para o qual existem, apenas, soluções particulares) e "muitas interações" podem ser entendidas como sendo apenas maior que o número de partes (arranjo de três na classe dois).

Se o que se pretende é aferir em que medida os cursos atuais preparam os futuros gestores para pensarem sistemicamente e proporem e testarem intervenções que estimulem essa habilidade, é importante definir o que significa pensamento sistêmico. A definição de pensamento sistêmico comporta diversos aspectos que devem ser considerados e explicitados se o objetivo é obter uma clareza que permita operacionalizar objetivos de ensino e sua correspondente avaliação. Ackoff propõe a seguinte definição:

> O Pensamento sistêmico é holístico versus reducionista, sintético versus analítico. O pensamento reducionista e analítico deriva as propriedades do todo das propriedades de suas partes. O pensamento holístico e sintético deriva as propriedades das partes do todo que as contém (ACKOFF, 2004, p.4).

Embora esta definição seja abrangente, ela nada nos informa sobre os processos cognitivos ou o exercício operatório necessário para desenvolver as habilidades necessárias para pensar sistemicamente. Será visto adiante que a concepção de Ackoff (2004) contrapondo análise e síntese é inadequada, já que elas se implicam mutuamente e que de forma recorrente sínteses num nível considerado correspondem a análises em outro.

Na revisão de literatura efetuada por Stave e Hopper (2007) elas relacionam as seguintes características de um pensador sistêmico:

a) Pensa em termos do "todo" ao invés de nas "partes" (RICHMOND, 1997);
b) Reconhece/procura compreender as interconexões e realimentações. (OSSIMITZ, 2000; POTASH; HEINBOKEL, 1997; RICHMOND, 1997; SWEENEY; STERMAN, 2000);
c) Compreende o conceito de comportamento dinâmico. (OSSIMITZ, 2000; POTASH; HEINBOKEL, 1997; RICHMOND, 1997; SWEENEY; STERMAN, 2000);
d) Pensa em termos do sistema como a causa de seu comportamento. (OSSIMITZ, 2000; RICHMOND, 1997; SWEENEY; STERMAN, 2000);
e) Compreende a forma como a estrutura do sistema gera o comportamento do sistema. (OSSIMITZ, 2000; RICHMOND, 1997).

De acordo com Richmond (1997), pensamento sistêmico é a arte e a ciência de fazer inferências confiáveis a respeito do comportamento, mediante o desenvolvimento de uma compreensão aprofundada da estrutura subjacente. Já para Senge (1990), pensamento sistêmico é uma forma de pensar a respeito e uma linguagem para descrever e compreender as forças e as inter-relações que moldam o comportamento dos sistemas.

O Quadro 4 apresenta um conjunto de definições constitutivas dos construtos desenvolvidos no referencial teórico.

Quadro 4 – Definições constitutivas das Categorias Teóricas

CATEGORIA	DEFINIÇÕES
Sistemas Complexos	**"**Por **sistemas complexos**, eu entendo um constituído de um grande número de partes que tem muitas interações" (**SIMON, 1996).**
Pensamento sistêmico	**Pensamento Sistêmico** é a arte e a ciência de fazer inferências confiáveis a respeito do comportamento, mediante o desenvolvimento de uma compreensão aprofundada da estrutura subjacente. **(RICHMOND, 1994).** **Pensamento sistêmico** [é] uma forma de pensar a respeito, e uma linguagem para descrever e compreender as forças e as inter-relações que moldam o comportamento dos sistemas. Esta disciplina nos auxilia a ver como mudar os sistemas mais eficientemente e atuar em sintonia com os processos naturais do mundo natural e econômico. **(SENGE, 1990).** **Pensamento sistêmico** O Pensamento sistêmico é holístico versus reducionista, sintético versus analítico. O pensamento reducionista e analítico deriva as propriedades do todo das propriedades de suas partes. O pensamento holístico e sintético deriva as propriedades das partes do todo que as contém **(ACKOFF, 2004).**
Realimentação (feedback) e Nível de referência	Ramaprasad define **realimentação** geralmente como "...informação a respeito do nível atual e do **nível de referência** de um parâmetro de sistema" que é usado para alterar a diferença [entre os dois níveis] de alguma forma (**RAMAPRASAD, 1983).**
Externalidades (efeitos colaterais)	Em economia uma externalidade é o custo ou o benefício de uma transação que afeta uma parte que não participou da definição da transação (**BUCHANAN; STUBBLEBINE, 1962).**

Fonte: Autor

Atwater, Kannan e Stephens (2008) empreenderam trabalho equivalente, revendo as concepções explicitadas por Ackoff (1981), Forrester (1971), Sterman (2000), Senge (1990), Richmond (2000) e propõem sintetizando que de uma perspectiva pedagógica o pensamento sistêmico deve ser definido utilizando os seguintes elementos:

a) Pensamento sintético: Estudar o papel e o propósito de um sistema e suas partes para entender porque elas se comportam da forma que o fazem;
b) Pensamento dinâmico: examinar como o sistema e suas partes se comportam ao longo do tempo;
c) Pensamento em malha fechada (*Closed-Loop Thinking*): Investigar como as partes de um sistema reagem e interagem entre si e com os fatores externos.

A síntese destes autores, tem o mérito de reunir diversos elementos em três categorias teóricas que serão examinadas em detalhe para definir os instrumentos de avaliação e examinar os tipos de problemas gerencias implicados nesses tipos de pensamento. Para estes autores, não

passa despercebida a “ironia” de explicar o pensamento sintético em termos analíticos e registram esse fato em nota de rodapé.

Atwater, Kannan e Stephens (2008) defendem que o pensamento sistêmico é um processo necessário na evolução da educação dos graduandos em administração. Os autores estudaram o papel que ele ocupa nos programas de formação e verificaram que, apesar de alguns acreditarem que está sendo ensinado de forma abrangente, não havia esforço de pesquisa nesse sentido.

Com o objetivo de sanar essa lacuna eles realizaram um levantamento nas escolas de administração melhor classificadas dos Estados Unidos, procurando caracterizar o estado atual do ensino do pensamento sistêmico nessas instituições, por meio de três questões: a) Os docentes compreendem o que é pensamento sistêmico?; b) Os docentes dessas escolas acreditam que o pensamento sistêmico tem um lugar no ensino de graduação em administração?; c) Está o pensamento sistêmico sendo ensinado nos programas de graduação e, em caso afirmativo, como?

Na realização desse levantamento, eles utilizaram um questionário autoaplicável. Nesse questionário, os autores procuram identificar a definição de pensamento sistêmico dos docentes das instituições selecionadas, na questão número 5 desse questionário e adotam como a definição mais correta a alternativa 4:

> 4. Compreensão de como as diferentes partes de uma organização interagem, reagem à mudança ao longo do tempo e enviam realimentações que afetam o desempenho (ATWATER; KANNAN; STEPHENS, 2008, p. 16, tradução nossa).

Dos respondentes, 35,4% selecionaram esta opção sendo que 3% consideraram que o pensamento sistêmico englobava todas as alternativas e, em especial, 1,4% dos respondentes (quatro em número absoluto) indicaram que o pensamento sistêmico além de incorporar todas as alternativas apresentadas envolvia a compreensão de como a organização **interagia com o ambiente.**

Apesar da síntese de Atwater, Kannan e Stephens (2008) ser abrangente e permitir que, a partir dela sejam pensadas estratégias de ensino que favoreçam o desenvolvimento do pensamento sistêmico, para efeito deste estudo, alguns de seus elementos serão desdobrados para poder examiná-los em detalhe.

2.4 ELEMENTOS DO PENSAMENTO SISTÊMICO

Das definições apresentadas foram extraídos os seguintes elementos comuns e complementares:

a) Compreensão de como as partes de uma organização (estrutura subjacente) interagem;
b) Enviam realimentações que afetam o desempenho;
c) Compreensão de como as organizações reagem à mudança ao longo do tempo;
d) Forma de linguagem para descrever e compreender as forças e inter-relações entre os elementos de um sistema;
e) Compreensão de como os sistemas interagem com o ambiente.

O presente estudo incorpora o item "e" que apareceu de forma espontânea na pesquisa de Atwater, Kannan e Stephens, uma vez que a exigência de desenvolvimento sustentável torna essencial chamar a atenção para os efeitos não intencionais (ditos colaterais) ou externalidades (efeito de uma transação sobre outros sistemas que não participaram da transação) das ações das organizações.

Por outro lado, nenhuma das definições apresentadas menciona especificamente as referências que uma organização ou sistema utiliza para autorreforçar ou autorregular seu comportamento (desempenho). Neste ponto, o presente estudo apresenta uma contribuição original ao chamar a atenção sobre esta lacuna da teoria.

Uma das contribuições do presente estudo é enfatizar que a explicitação da referência (meta, objetivo) utilizada para condicionar o desempenho da organização permite evidenciar os paradigmas que definem seu comportamento e, isto, possibilita sua análise crítica, fundamental quando se trata de sistemas sociais, econômicos e simbólicos e, ainda, quando envolve o processo de aprendizagem. Neste ponto, é reproduzida a citação de Herbert Simon (1996), que apresenta a habilidade de reconhecer o objetivo como se fosse dada e trivial, pensando ter resolvido o problema da teleologia, ignorando que os objetivos podem ser descobertos, mutantes, simbólicos e construídos individual ou socialmente, ele afirma que o controle via realimentação mostra como os sistemas:

> Podem trabalhar em direção a objetivos e adaptar-se a um ambiente mutante removendo desta forma o mistério da teleologia. O que é requerido é a **habilidade de reconhecer o objetivo**, detectar as diferenças entre a situação atual e o objetivo e ações que podem reduzir essas diferenças" (SIMON, 1996, p.172, grifo nosso).

Como tudo o que óbvio ou ubíquo, a referência, é dada como certa, permanecendo implícita. A posição deste estudo é que ela deve ser explicitada se o que se pretende é desenvolver formas inovadoras de abordar uma realidade complexa. Desta forma, aos cinco elementos da definição apresentados anteriormente o presente estudo adiciona:

f) Explicitação das referências (objetivos, metas, paradigmas) que condicionam o comportamento do sistema (organização).

Para concluir, é retomada a síntese de Atwater, Kannan e Stephens (2008), complementando com os elementos adicionais apresentados neste tópico para estabelecer a definição que será usada como base neste estudo:

Pensamento sistêmico é composto por três elementos:

a) Pensamento sintético: Estudar um sistema, identificando as referências (objetivos ou metas) que são usadas para compreender seu papel e seu propósito e de suas partes para entender porque elas se comportam da forma que o fazem;
b) Pensamento em malha fechada (*Closed-Loop Thinking*): Investigar como as partes de um sistema reagem e interagem entre si e com os fatores externos, e em que medida as referências utilizadas para autorregulação e autorreforço, condicionam seu comportamento;
c) Pensamento dinâmico: examinar como o sistema e suas partes se comportam ao longo do tempo.

Neste estudo será focalizada o terceiro elemento, isto é, o pensamento dinâmico que está no cerne do problema do estoque-fluxo.

2.5 APRENDIZAGEM EXPERIENCIAL

A hipótese subjacente a este trabalho é que as dificuldades enfrentadas pelos estudantes diante do problema de estoque-fluxo apresentam semelhanças com as enfrentadas pelas crianças nos estudos de Piaget (1971) diante dos problemas de conservação do volume (substância, massa, densidade). Os seres humanos dispõem, em geral, de um sistema perceptivo muito desenvolvido pronto para reagir diante de estímulos sensoriais orientados por dimensões dominantes como intensidade de um som, comprimento, altura ou largura. A correção eventual de uma percepção inicial que conduza a um erro de avaliação requer um outro mecanismo que só intervém num segundo momento e em muitos casos pode contrariar a percepção inicial a partir de um sistema de coordenações.

Contrariamente ao que Forrester comentou, (FORRESTER, 2009, p. 3) "*Any child who can fill a water glass or take toys from a playmate knows what accumulation means*", Piaget demonstrou que a conservação do volume de um líquido, quando é vertido de um recipiente a outro, é uma construção realizada a partir do exercício operatório que leva à internalização da representação de operações e, a partir daí, à sua coordenação e à construção da reversibilidade, concluindo pela conservação. Contrariamente, também ao que Phuah (2010) acredita, o conhecimento prévio de algumas operações, não garante sua coordenação mútua: crianças podem ter representações precisas de peso e volume e, nem por isso, daí decorrer a compreensão imediata do conceito de densidade.

O mecanismo preciso que conduz a essa coordenação permanece desconhecido, sendo que a melhor analogia para o modelo dessa coordenação é dada pela lei de aprendizagem de Hebb. Serão apresentadas, posteriormente, as operações e coordenações que, na avaliação deste autor, são necessárias para resolver o problema de fluxo-estoque

> Donald Hebb (1949) propôs o entendimento dos processos de aprendizagem em termos de uma regra, que veio a ser conhecida como "Lei de Hebb". Essa lei estabelece que a ativação concomitante de dois ou mais neurônios tem como efeito uma mudança metabólica nos mesmos, levando, no tempo, ao fortalecimento de suas conexões, isto é, levando a um crescimento de seus dendritos e axônios, reforçando as sinapses já existentes, e formando novas sinapses entre eles. Já aqueles neurônios que não são ativados concomitantemente com outros tenderiam à degenerescência, diminuindo sua conectividade (a qual normalmente se situa na faixa de milhares de conexões para cada neurônio), e, consequentemente, o seu peso na determinação das funções executadas pela rede neuronal. Estudos de neurofisiologia da formação da memória, a partir da década de 1960, vieram trazer confirmação experimental para a Lei de Hebb. Esse processo foi chamado de Potenciação de Longo Termo – do inglês "Long-Term Potentiation LTP) " (MARQUES et al, 2012, p. 44).

Kolb, A. e Kolb, D. (2005) partem do trabalho de diversos teóricos como John Dewey, Kurt Lewin, Jean Piaget, William James, Carl Jung, Paulo Freire, Carl Rogers, para formular sua teoria da aprendizagem experiencial e formular seus princípios. Kolb (1984) é explícito ao denominar "experiencial" a perspectiva que adota para deixar claro suas origens intelectuais baseadas no trabalho de Dewey, Lewin e Piaget e para enfatizar o papel central que a experiência tem no seu modelo do processo de aprendizagem. Sua teoria apresenta um quadro de referência integrativo sobre a aprendizagem que combina a experiência, a percepção, a cognição e o comportamento.

Sobre a teoria de Lewin ele salienta dois pontos: 1) a experiência concreta do aqui-agora que dá "vida, textura, e significado pessoal subjetivo", (KOLB, 1984, p. 21); 2) Ele se baseia em processos de feedback, que fornecem a base para um processo pessoal de direcionamento para objetivos, à resolução de problemas e à avaliação das consequências das ações tomadas.

De acordo com Kolb (1984), Lewin e seus seguidores acreditam que muito da ineficiência pessoal e das organizações pode ser atribuída à ausência de um processo de feedback adequado.

Kolb (1984) ressalta as semelhanças das concepções de Lewin e Dewey, ressaltando que este último enfatiza a natureza da aprendizagem como processo de desenvolvimento dialético que integra experiências e conceitos, observações e ações.

> O impulso da experiência dá às ideias sua força de movimento e as ideias dão direção ao impulso. O adiamento da ação imediata é essencial para que a observação e o julgamento intervenham e a ação é essencial para o atingimento do propósito. É mediante a integração de estes processos opostos, mas simbioticamente relacionados, que propósitos maduros e sofisticados se desenvolvem a partir do impulso cego (KOLB, 1984, p.22, tradução nossa).

2.5.1 O modelo de aprendizagem de Piaget

Kolb (1984) explicita as analogias dos modelos de Lewin, Dewey e Piaget ao afirmar que, para Piaget, o processo de aprendizagem também é um desenvolvimento que resulta da interação entre o sujeito o ambiente. Para Piaget (1970), a aprendizagem corresponde a um fluxo dinâmico entre a **assimilação** de eventos e experiências pelo sujeito e a **acomodação** das estruturas *(schemas*) sensório-motoras e cognitivas do sujeito decorrentes dessa assimilação. Conceitos e experiências, ação e reflexão constituem os elementos básicos para o desenvolvimento do pensamento, que evolui de uma visão concreta do mundo para uma representação abstrata, de uma visão egocêntrica ativa, para uma forma internalizada de conhecimento. É da tensão desses dois processos que, de acordo com Piaget, se desenvolve a adaptação inteligente ao mundo, isto é, a aprendizagem. Em termos extremos, a acomodação conduz à imitação e a assimilação ao jogo que prescinde do significado social dado a objetos e eventos. A interação entre esses dois processos é a base do desenvolvimento cognitivo do concreto ao abstrato que se dá em estágios sucessivos que incorporam as aprendizagens dos anteriores em níveis mais altos de estruturas cognitivas.

Piaget identifica quatro grandes estágios de crescimento cognitivo que vão do nascimento até a adolescência: a) estágio sensório-motor. b) pré-operatório c) operatório concreto e d) operatório formal.

No primeiro estágio, a aprendizagem se dá predominantemente pela ação do sujeito, tocar, sentir, degustar, e a representação está associada à ação. Uma grande realização deste estágio é o desenvolvimento de um comportamento intencional, que vai de uma atitude inicialmente exploratória para um comportamento claramente orientado para objetivos. Neste

estágio a criança tem poucos *schemas* para assimilar o ambiente e consequentemente há um predomínio do processo de acomodação no qual a aprendizagem é fortemente condicionada pela associação de estímulos e respostas (KOLB, 1984).

No segundo estágio que vai aproximadamente dos 2 aos 6 anos, permanece a orientação concreta, mas a criança inicia um processo de internalização das ações em imagens que dão origem a uma representação interna do ambiente, relatada por Piaget, por exemplo, em episódios de imitação diferida. As imagens adquirem autonomia, a aprendizagem se dá por meio da manipulação de observações e imagens, o que liberta a criança da experiência imediata e a torna livre para brincar com suas imagens do mundo (KOLB, 1984).

No estágio de operações concretas, a independência sobre a percepção imediata se acentua e dá lugar ao estabelecimento de relações entre as representações internas criando *schemas* que possibilitam a coordenação de dimensões da percepção e desembocam numa flexibilidade que permite a reversibilidade (a operação inversa) que dá origem às conservações de substância, volume e número e à lógica das classes e das relações. Neste estágio a assimilação da experiência a esquemas previamente desenvolvidos tem um papel de crescente importância quando a criança passa a utilizar conceitos e "teorias" para incorporar e dar forma às suas experiências (KOLB, 1984).

No estágio operatório formal (aproximadamente dos 12 aos 15 anos), o adolescente evolui de um processo simbólico ancorado em operações concretas para um processo de operações formais. Há uma nova fase de intensa atividade em que a capacidade simbólica desenvolvida permite envolver-se em raciocínios hipotéticos dedutivos. É capaz de inferir implicações possíveis de suas teorias e testar experimentalmente a sua validade.

Para Piaget, esta fase é concebida como uma postura geral que se caracteriza por uma orientação para organizar os dados e controlar as variáveis, para a solução de problemas, envolvendo o teste de hipóteses mediante raciocínio e prova lógica e incorpora a análise combinatória e a lógica proposicional (FLAVELL, 1963).

Piaget diferencia os dois estágios em termos das operações lógicas que intervêm em cada um deles e enfatiza a necessidade da presença da análise combinatória na construção de um "todo estruturado" que implica no pensamento hipotético ao considerar "todas" as combinações possíveis entre as variáveis que fazem parte do problema.

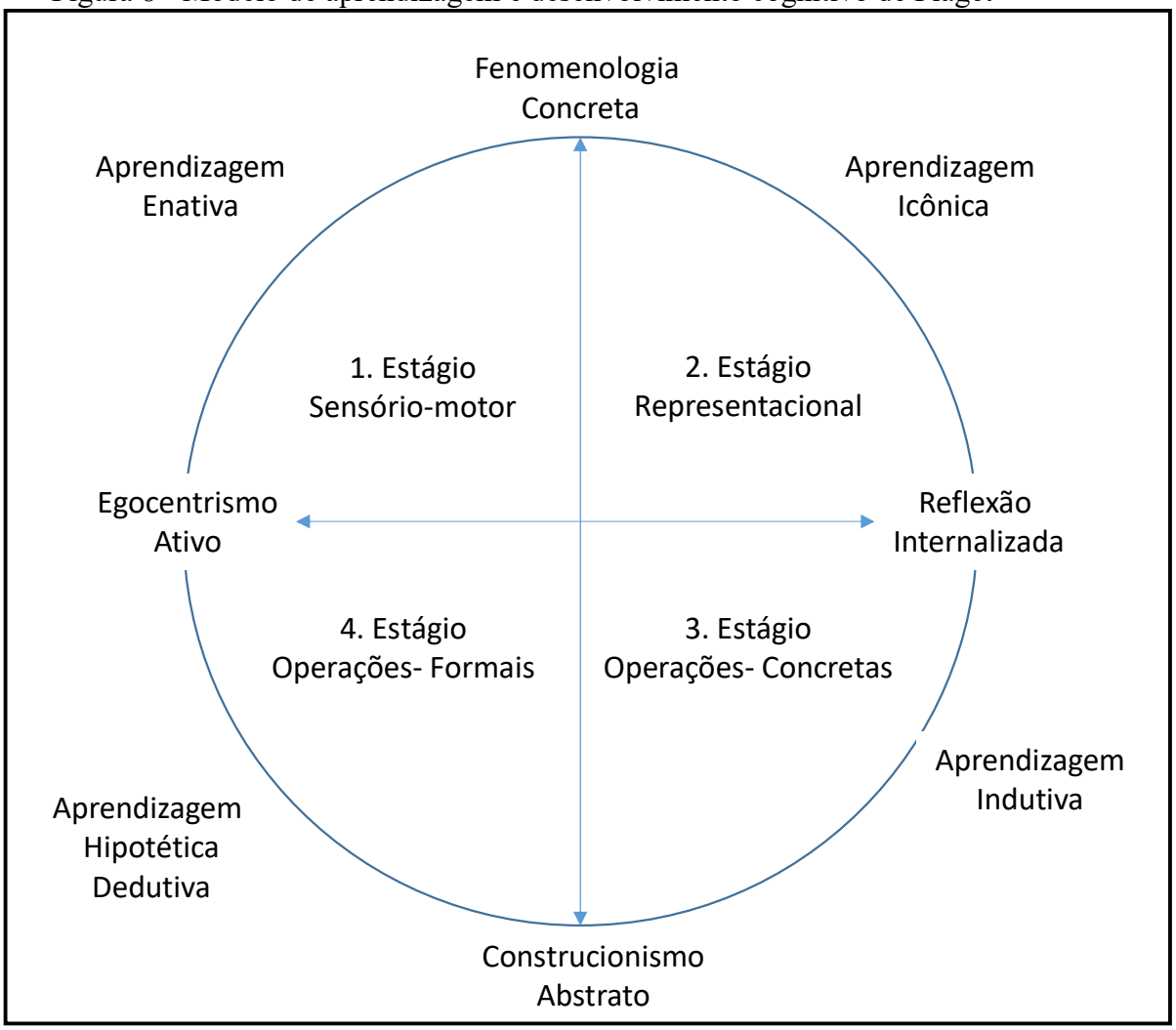
> Todavia, o sujeito não possui nenhuma operação que lhe permita integrar os agrupamentos de classes e relações em um sistema único diretamente a menos que ele vá além da adição ou multiplicação simples da inclusão de classes. Em outras palavras, ele tem que integrá-las em um "todo estruturado" –i. e. precisamente o

> Sistema combinatório cuja organização no pensamento do sujeito estamos tratando de entender (PIAGET; INHELDER, 2013, posição. 5384, tradução nossa).

Fundamental para a teoria da aprendizagem experiencial é o conceito de operação. Uma operação é um tipo de ação que tanto pode ser efetuada sobre o ambiente externo, quanto realizada internamente quando se manipulam categorias ou proposições, de uma forma genérica pode-se dizer que operações são meios para transformar informações mentalmente. Uma operação difere de uma ação no sentido de ser internalizada e reversível. Sintetizando: "uma operação é uma ação internalizada e reversível que se relaciona a outras em uma estrutura integrada" (PIAGET; INHELDER, 2013, posição 147, tradução nossa).

Na Figura 8, é apresentado o modelo de desenvolvimento cognitivo e aprendizagem de Piaget de acordo com Kolb (1984).

Figura 8 - Modelo de aprendizagem e desenvolvimento cognitivo de Piaget



Fonte: Kolb, 1984, p.25, tradução nossa

2.5.2 Características da aprendizagem experiencial

Kolb (1984) reconhece que há diferenças entre os modelos de Lewin, Dewey e Piaget, mas preserva e enfatiza as semelhanças apresentando as características comuns ao que ele denomina as maiores "tradições" da aprendizagem experiencial.

Para diferenciar a aprendizagem experiencial da abordagem idealista da educação e das teorias comportamentais de aprendizagem, de Watson, Hull e Skinner, Kolb (1984) dá ênfase ao processo de aprendizagem, contrapondo sua base filosófica e epistemológica às abordagens derivadas dessas teorias que colocam a ênfase nos comportamentos esperados, para esse autor se as ideias são vistas como fixas ou imutáveis é possível dentro dessa visão medir quanto alguém aprendeu, pela quantidade destas ideias fixas que a pessoa acumulou. Kolb (1984) não menciona, neste ponto, que Piaget considera algumas estruturas fixas que se integram em um todo estruturado (grupos e redes), apesar dele enfatizar a reversibilidade e reciprocidade como características fundamentais dessas estruturas.

Para Kolb (1984), nos três modelos nos quais ele se fundamenta: Lewin, Dewey e Piaget a aprendizagem é considerada um processo a partir do qual os conceitos são derivados e modificados continuamente pela experiência. Em particular, o autor salienta que a geração de novos conhecimentos é o problema central da epistemologia genética para Piaget. O conhecimento é um processo emergente, cujos resultados, são apenas o registro histórico desse processo. Para Kolb e Kolb (2005) a teoria da aprendizagem está baseada em seis princípios compartilhados pelos autores nos quais ele se fundamenta.

a) A aprendizagem é melhor concebida como um processo e não em termos de resultado. Um processo que inclui o feedback sobre a efetividade de seus esforços de aprendizagem;
b) Toda aprendizagem é uma reaprendizagem e é melhor quando ela parte de concepções prévias dos estudantes;
c) A aprendizagem requer a resolução de conflitos entre modos opostos de adaptação ao mundo;
d) A aprendizagem é um processo de adaptação holístico ao mundo, não apenas o resultado da cognição;
e) A aprendizagem resulta de transações sinérgicas entre a pessoa e o ambiente. Nas palavras de Piaget a aprendizagem ocorre por meio de uma equilibração do processo

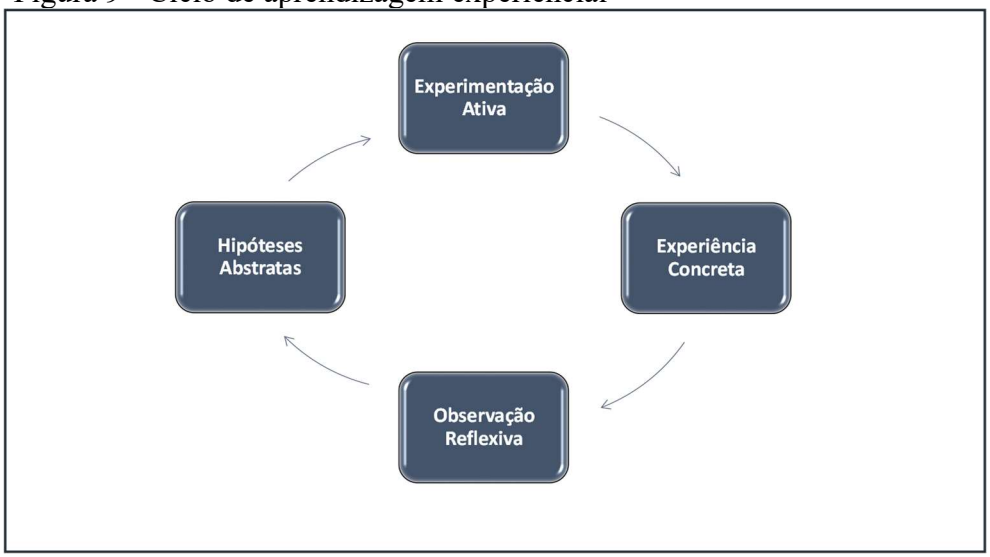
dialético de assimilar novas experiências nos conceitos existentes e acomodar os conceitos existentes à nova experiência;

f) Aprendizagem é um processo de criação de conhecimento.

> A teoria da aprendizagem experiencial propõe uma teoria construtivista, onde o conhecimento social é criado é recriado no conhecimento pessoal do estudante. Isto contrasta com o modelo de "transmissão" no qual muitas das práticas educacionais atuais estão baseadas, onde ideias fixas pré-existentes são transmitidas aos estudantes. A teoria de aprendizagem experiencial define aprendizagem como "o processo onde o conhecimento é criado por meio da transformação da experiência. O conhecimento resulta da combinação da apropriação e transformação da experiência (KOLB, 1984: 41) ". (KOLB, A; KOLB, D, 2005, P.194, tradução nossa).

A Figura 9 representa o ciclo de aprendizagem experiencial proposto por Kolb, A. e Kolb, D. (2005) que representa duas formas relacionadas dialeticamente de apropriação da experiência: Experiência Concreta e Conceptualização Abstrata e dois modos dialeticamente relacionados de transformação da experiência: Observação Reflexiva e Experimentação ativa.

Figura 9 - Ciclo de aprendizagem experiencial



Fonte: Autor "adaptado" de Kolb, A. e Kolb, D. (2005)

Kolb (1984) concebe o ciclo de aprendizagem como uma espiral recorrente que parte da experiência, como base da ação para a abstração de conceitos que servem de base para novas experiências.

> As experiências concretas servem de base para observações e reflexões. Estas reflexões são assimiladas e destiladas em conceitos abstratos, dos quais novas implicações para ação podem ser derivadas. Estas implicações podem ser testadas ativamente e servem de base para criar novas experiências. (KOLB, A.; KOLB, D., 2005, p.194, tradução nossa).

2.6 APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS

Neste tópico, são examinadas as bases teóricas que dão suporte à aprendizagem baseada em problemas, de forma a fundamentar a abordagem adotada no presente estudo.

2.6.1 Fundamentação no modelo construtivista

Savery e Duffy (1995) identificam três proposições que orientam a abordagem construtivista que fornece o fundamento da aprendizagem experiencial. O primeiro, que esses autores definem como central do construtivismo, é que a compreensão se situa na interação com o ambiente. Para eles a compreensão é uma função do contexto, do conteúdo, de como ele é abordado, das ações do estudante e, principalmente, dos seus objetivos. O segundo considera conflito cognitivo como estímulo para a aprendizagem e determina a natureza e a organização da aprendizagem. Finalmente eles consideram que conhecimento evolui por meio da negociação social, por meio da avaliação da viabilidade das compreensões individuais. Dessas três proposições, esses dois autores derivam os oito princípios instrucionais apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 – Princípios instrucionais derivados da abordagem construtivista

	PRINCIPIOS INSTRUCIONAIS	COMENTÁRIO
1	Ancorar todas as atividades de aprendizagem em um problema ou tarefa maior.	A aprendizagem deve ter um propósito que vai além das atividades designadas.
2	Apoiar alunos a se apropriar do problema global como um todo.	A aprendizagem é melhor quando o aluno "compra" o problema e as tarefas como próprias.
3	Desenhar problemas autênticos.	Isto é, o estudante deve ser envolvido em problemas que tenham o mesmo "tipo" de desafios cognitivos da tarefa real.
4	Desenhar a tarefa e o ambiente de aprendizagem para refletir a complexidade do ambiente.	É importante que a compreensão de um princípio leve em conta o contexto onde ele se aplica e de onde ele é derivado.
5	Dar ao aluno a propriedade do processo utilizado para desenvolver a solução	Isto é, o problema deve ser o estímulo para uma aprendizagem auto direcionada dirigida para resolução de problemas.
6	Desenhar o ambiente de aprendizagem para apoiar e desafiar o pensamento do aluno	No papel de consultor e *coach* o professor deve promover a aprendizagem a partir dos conhecimentos do aluno, no modelo do conceito da zona proximal de Vygotsky.

Continua...

Conclusão.

7	Encorajar o teste de ideias contra visões e contextos alternativos	O conhecimento é socialmente construído. A qualidade e a profundidade da compreensão desenvolvida somente podem ser determinadas pelo contraste com a compreensão dos outros**.**
8	Fornecer a oportunidade e dar suporte para refletir tanto sobre o conteúdo quanto sobre o processo da aprendizagem.	Dar suporte para o desenvolvimento do pensamento reflexivo, como uma das metas fundamentais do processo de aprendizagem.

Fonte: Autor adaptado de Savery e Duffy, 1995

De acordo com Savery e Duffy (1995), o modelo da aprendizagem baseada em problemas de Howard Barrows, como estratégia de ensino, incorpora quase idealmente todos esses princípios e proposições.

> Um grande número de ambientes que refletem esses princípios é descrito em Duffy e Joanssen (1992) e Joanssen (1993). Além disso, a elaboração e a aplicação destes princípios a contextos específicos são descritas em Joanssen (1993). Em nosso próprio exame de ambientes de aprendizagem, no entanto, nos encontramos uma aplicação que nos parece que captura quase idealmente esses princípios -o modelo de aprendizagem baseada em problemas de Howard Barrows (1985; 1992). (SAVERY; DUFFY, 1995, p.6-7, tradução nossa).

A aprendizagem baseada em problemas (PBL – *Problem Based Learning*), como modelo de metodologia de ensino, foi desenvolvida dentro de escolas de medicina no início da década de 1970 e, a partir da expansão do seu uso, tem sido aplicada em diversas áreas, incluindo direito, engenharia e administração.

Savery e Duffy (1995) descrevem o processo de uma forma geral indicando que os alunos iniciam sem conhecimento prévio do problema que será apresentado. A seguir, o problema é apresentado e, em pequenos grupos, iniciam a discussão, onde são instruídos a levantarem hipóteses, registrarem fatos relevantes relativos ao problema e identificarem tópicos de aprendizagem que, sendo importantes para a solução do problema, não são totalmente dominados pelo grupo. O encontro inicial somente termina quando todos os estudantes tiverem a oportunidade de dar sua opinião sobre o encaminhamento e a solução do problema (o que implica em certo comprometimento com uma posição) e assume a responsabilidade por um dos tópicos de aprendizagem identificados. Os estudantes relacionam os tópicos e objetivos de aprendizagem com base em sua própria análise do problema. Terminada a sessão inicial do problema os alunos se engajam em uma aprendizagem autodirigida, sem a designação de textos de leitura. Os alunos são totalmente responsáveis pela sua aprendizagem. Adicionalmente

monitores e ou professores são designados como consultores, a quem os estudantes podem recorrer.

Após os prazos definidos para o estudo autodirecionado, são promovidos novos encontros onde os alunos avaliam tanto as soluções apresentadas, quanto os recursos e métodos utilizados para resolver o problema. O problema é novamente abordado, a partir dos novos conhecimentos adquiridos. Importante salientar que não se trata apenas de reportar o que foi apreendido, mas usar os novos conhecimentos para reexaminar o problema. O ciclo pode ser repetido diversas vezes explorando novas informações e abordagens.

A avaliação ao final do processo é realizada em termos de autoavaliação e avaliação pelos membros da mesma equipe e envolve normalmente três áreas: aprendizagem autodirigida, solução de problemas e habilidades interpessoais como membro do grupo. Isto não significa que não possam ser realizados testes sobre as questões de aprendizagem. Numa interpretação estrita, os testes devem versar sobre as questões de aprendizagem levantadas pelos alunos. Em ambientes onde a exigência curricular deve ser atendida, a posição do autor do presente trabalho é que, desenhado adequadamente, o processo deva conduzir a resultados que satisfazem os requisitos curriculares.

A Figura 10 apresenta o processo de aprendizagem baseada em problemas de Barrows e Myers apresentado por Savery e Duffy (1995) e sintetiza as fases descritas por esses autores, que enfatizam quatro aspectos críticos do processo:

a) Objetivos de aprendizagem;
b) Geração do problema;
c) Apresentação do problema;
d) Papel do facilitador.

Os objetivos de aprendizagem envolvem metas ligadas à aprendizagem autodirigida, ao conteúdo e à habilidade de resolução de problemas. Para serem bem-sucedidos os estudantes devem desenvolver estratégias para identificar as questões envolvidas, localizar e avaliar recursos relevantes para a solução da questão. O processo de solução de problemas é elaborado de forma a fomentar a geração e teste de hipóteses e desenvolver o raciocínio hipotético-dedutivo. Em relação aos objetivos ligados ao conteúdo, de acordo com Savery e Duffy (1995), uma vez que a responsabilidade pela solução do problema é dos estudantes, não há garantia de que todos os objetivos ligados ao conteúdo sejam atingidos. A posição do autor do presente trabalho é que, em ambientes condicionados por requisitos curriculares, a solução do problema deve ser explorada, se necessário, até que os objetivos educacionais vinculados ao conteúdo sejam atingidos.

Figura 10 - O processo de aprendizagem baseada em problemas de Barrows e Myers (1993)

COMEÇANDO UMA NOVA CLASSE

1. **Introduções**
2. **Adequação do clima (incluindo professor / papel de tutor)**

COMEÇANDO UM NOVO PROBLEMA

1. **Apresentação do problema**
2. **Trazer o problema para a realidade próxima** (internalização pelo aluno)
3. **Descrever o resultado esperado / desempenho requerido**
4. **Designar as tarefas** (Escrever no quadro, copiar do quadro e atribuir responsbilidades pessoais

IDEIAS (Hipóteses)	FATOS	QUESTÕES DE APRENDIZAGEM	PLANO DE AÇÃO
Conjecturas dos estudantes a respeito do problema podem envolver, causas, efeitos , possíveis soluções etc.	Uma síntese progressiva e abrangente da informação obtida por meio da interrogação, importante para a geração de hipóteses	Lista dos estudantes do que necessitam saber ou compreender com o objetivo de terminar a tarefa e resolver o problema	Coisas que precisam ser feitas para completar a tarefa proposta no problema

5. **Raciocinando sobre o problema**

O que você faz com as colunas no quadro

IDEIAS (Hipóteses)	FATOS	QUESTÕES DE APRENDIZAGEM	PLANO DE AÇÃO
Expandir / Foco	Síntese e re-síntese	Identificar / Justificar	Formular Plano

6. **Compromisso prévio com uma solução provável (mesmo que muito precise ser aprendido)**
7. **Modelagem e designação das questões de aprendizagem**
8. **Identificação de recursos**
9. **Programação do acompanhamento**

ACOMPANHAMENTO DO PROBLEMA

1. **Recursos usados e análise crítica**
2. **Reavaliação do problema**

O que você faz com as colunas no quadro

IDEIAS (Hipóteses)	FATOS	QUESTÕES DE APRENDIZAGEM	PLANO DE AÇÃO
Revisar	Aplicar novos conhecimentos e fazer novas sínteses	Identificar novas (se necessário)	Redesenhar decisões

APRESENTAÇÃO DO DESEMPENHO

APÓS A CONCLUSÃO DO PROBLEMA

1. **Abstração do conhecimento e sumário** (desenvolver definições, diagramas, listas, conceitos, abstrações e princípios)
2. **Autoavaliaçã**o (seguida pelos comentários do grupo)
   - raciocínio envolvido no problema
   - obtenção de informações usando boas fontes
   - auxílio ao grupo nas suas tarefas
   - ganho e/ou retenção de conhecimento

Fonte: Savery e Duffy, 1995, p. 9, tradução nossa

Em relação à geração de problemas dois aspectos devem ser levados em conta: em primeiro lugar os problemas devem fazer emergir os conceitos e princípios vinculados à área de conteúdo que se pretende explorar, isto implica que o primeiro passo deve ser a identificação dos conceitos e princípios que os alunos devem aprender. Em segundo lugar, o problema deve ser "real", de forma a dispor de um conjunto consistente de informações, e fomentar o envolvimento dos alunos e finalmente para poder responder aos alunos o que de fato está sendo ou foi feito para resolver o problema, o que não é possível com problemas fictícios.

O engajamento dos alunos na solução do problema implica em dois aspectos críticos, na apresentação do problema. Para que os alunos se envolvam, é necessário que incorporem e se apropriem do problema. Isto é, que, de alguma forma simbólica ou concreta, os afete. Os alunos devem perceber que o problema é real e que tem para eles relevância pessoal. Na apresentação do problema também é muito importante ter certeza de que os dados apresentados não realcem os fatores críticos do problema. Com frequência apenas a informação chave para solução do problema é apresentada com uma questão básica, mesmo que o caso tenha sido apresentado de uma forma envolvente.

Finalmente, em relação ao papel do tutor, Savery e Duffy (1995) afirmam que é importante que este promova a elaboração do pensamento em níveis mais altos, por meio de questionamentos constantes, Porque? O que significa? Como você chegou a essa conclusão? Como você pode testá-la? etc., evitando dar opiniões ou resolver o problema para os estudantes. O conhecimento do tutor deve ser utilizado para estimular o pensamento e não para resolver o problema. Um segundo papel do tutor (o que pode ocorrer entre o próprio grupo de alunos em pequenos grupos) é desafiar o raciocínio dos alunos, estimulando a elaboração do significado do conhecimento e procurando extrair implicações e conclusões dos resultados de seu estudo: Quais são as implicações disso? Você sabe o que isto significa? A partir disso, que outras conclusões você pode inferir? Durante as primeiras sessões o tutor questiona a compreensão a relevância e a abrangência das questões de aprendizagem relacionadas pelos alunos. Ao longo do estudo, no entanto, os alunos evoluem e espera-se que assumam seu papel, dentro da estratégia da aprendizagem baseada em problemas, desenvolvendo a capacidade de aprender a aprender.

2.7 ESTUDOS ANTERIORES

Com o objetivo de fundamentar a questão de pesquisa proposta e explicitar os principais resultados obtidos por diversos pesquisadores de importantes universidades, bem como as lacunas de conhecimento propostas por estudos anteriores o Quadro 6 apresenta a relação de autores, o ano e o título das publicações, que abordam o problema da acumulação ou estoque-fluxo, os principais resultados relatados e as lacunas apontadas pelos pesquisadores.

O estudo original de Sweeney e Sterman (2000) endereça a questão de desenvolver a capacidade de pensar sistemicamente, motivada pelo crescente número de educadores, líderes empresariais e ambientalistas que consideram que isto é fundamental para enfrentar os desafios do novo século, num cenário de aceleração das mudanças e esgotamento de recursos. Com esse objetivo, eles colocam algumas questões básicas: "Como as pessoas aprendem a pensar sistemicamente? Que habilidades são requeridas? Alguns tipos de antecedentes acadêmicos melhoram a habilidade de pensar sistemicamente? " (SWEENEY; STERMAN, 2000, p. 249, tradução nossa).

Partindo dessas questões, esses autores propõem o desenvolvimento de um questionário que permita avaliar as habilidades que eles consideram essenciais para se pensar sistemicamente. Desta forma, seria possível avaliar tanto a capacidade de pensar sistemicamente, quanto a efetividade de iniciativas educacionais realizadas com o propósito de desenvolver tais habilidades, que de acordo com esses autores incluem as seguintes:

> Habilidades específicas de pensar sistemicamente incluem a capacidade de:
> - Compreender como o comportamento de um sistema emerge da interação de seus agentes ao longo do tempo (i.e., complexidade dinâmica);
> - Descobrir e representar os processos de realimentação (ambos, positivos e negativos) que servem de hipótese para explicar os padrões observados de comportamento do sistema;
> - Identificar relações de estoque e fluxo;
> - Reconhecer atrasos e compreender seu impacto;
> - Identificar não linearidades;
> - Reconhecer e desafiar os limites dos modelos mentais (e formais).
>
> Subjacentes a essas habilidades de pensar sistemicamente há outras habilidades mais básicas as quais são ensinadas como parte do currículo da maior parte das escolas de ensino médio:
> - Interpretar gráficos, criar gráficos a partir de dados;
> - Contar uma história a partir de um gráfico, criar um gráfico do comportamento no tempo, a partir de uma história;
> - Identificar unidades de medida (i.e. Déficit Federal = $/período de tempo);
> - Compreensão básica de probabilidades, lógica e álgebra (SWEENEY; STERMAN, 2000, p. 250, tradução nossa).

Quadro 6 – Autores e publicações relativas ao problema de estoque-fluxo

ANO	AUTORES	TÍTULO DA PUBLICAÇÃO	RESULTADOS	LACUNA
2000	SWEENEY, L.; STERMAN, J.	Bathtub dynamics: initial results of a systems thinking inventory	Os resultados sugerem fortemente que sujeitos altamente educados, com treinamento extensivo em matemática e ciências têm uma compreensão pobre de conceitos básicos de dinâmica de sistemas como estoque e fluxo.	De que forma, outros fatores como educação, experiência, prévia e outras variáveis demográficas afetam o desempenho.
2002	OSSIMITZ, G.	Stock-Flow-Thinking and reading stock-flow-related Graphs: an empirical investigation in dynamic thinking abilities.	O estudo mostrou severos déficits na habilidade de discernir entre estoques e fluxos. Gráficos relativos à representação de fluxos no tempo foram interpretados como estoques. Mostra uma diferença de desempenho em função do gênero para o qual o autor admite não ter sequer uma hipótese séria.	O estudo sugere que pode existir uma habilidade central que dispara todas as outras capacidades de compreender a relação estoque fluxos: compreender que um fluxo líquido positivo resulta em um incremento do estoque.
2002	KAINZ, D.; OSSIMITZ, G.	Can Students Learn Stock-Flow-Thinking? An Empirical Investigation	Os estudantes consideram mais fácil, a partir de um texto escrito, elaborar o gráfico do estoque do que a partir dos gráficos de fluxo de entrada e saída. Quando os fluxos são dados em forma de tabela, os estudantes tiveram um desempenho muito superior ao determinar o ponto máximo do estoque. Uma intervenção curta foi capaz de mostrar melhorias no desempenho dos estudantes.	Diferenças de gênero, identificadas inicialmente por Sweeney e Sterman, foram verificadas e requerem investigação mais aprofundada, assim como a confirmação do efeito da intervenção que deve ser interpretada como preliminar.
2002	STERMAN, J.; SWEENEY, L.	Cloudy skies: assessing public understanding of global warming.	Diante de tarefas que testam a habilidade de compreender as estruturas mais básicas de fluxo e estoque que governam o clima, sujeitos altamente educados têm um desempenho pobre e suas respostas exibem erros sistemáticos.	Pesquisar a falta de incentivos para resolver a tarefa, e se o tempo dado para resolução afeta o desempenho.
2005	PALA, Ö.; VENNIX, J.	Effect of system dynamics education on systems thinking inventory task performance.	Verificou-se uma melhoria no grupo experimental na tarefa da loja de departamentos em relação ao grupo controle, no entanto houve um viés de seleção pois verificou-se uma diferença no pré-teste entre os dois grupos.	Sugerem pesquisar a diferença entre as respostas do máximo e mínimo dentro da loja.
2007	CRONIN, M.; GONZALEZ, C.	Understanding the building blocks of dynamic systems.	Nem a familiaridade com o domínio do conhecimento, nem a motivação melhoram o desempenho. O resultado mais claro é que a representação visual da dinâmica do sistema é a fonte crítica de dificuldade para entender a relação entre estoque e fluxos.	Como os participantes codificam o problema de estoque-fluxo, focando na construção inicial da representação mental utilizada.

Continua...

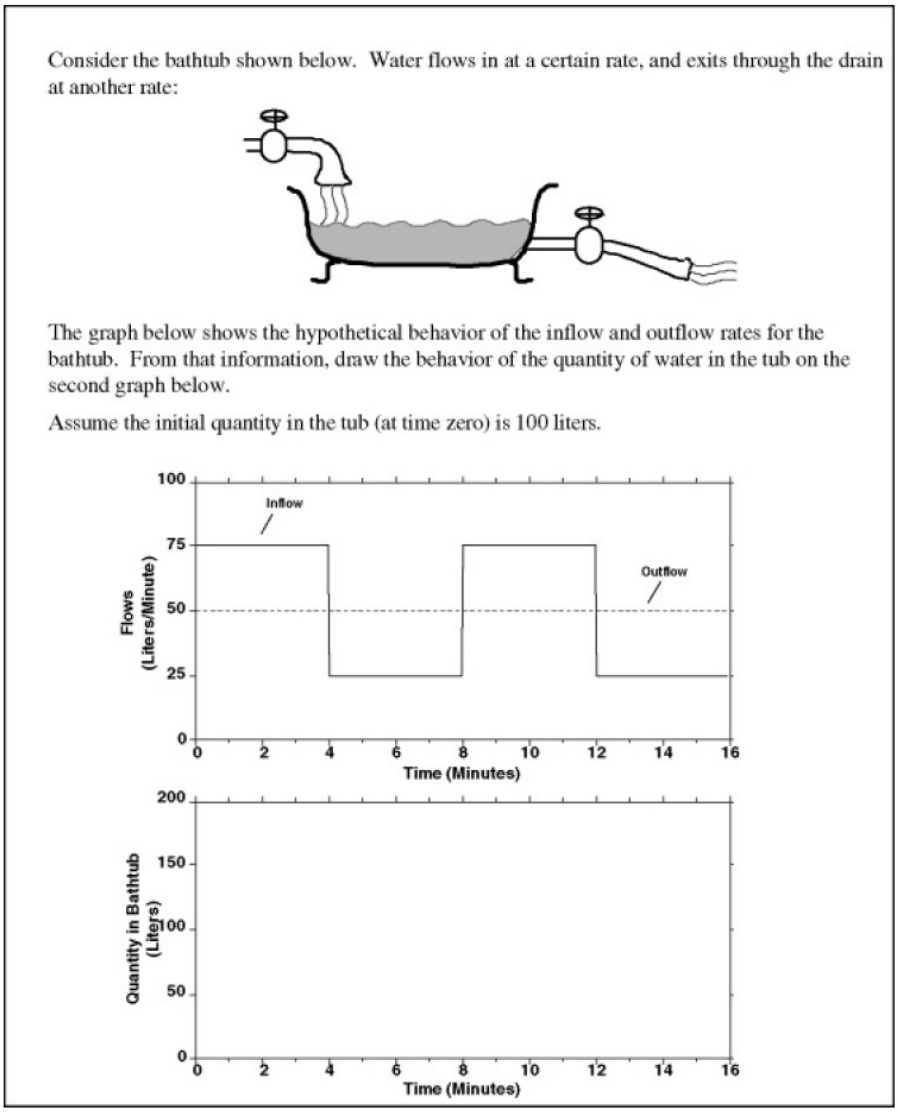
Conclusão.

ANO	AUTORES	TÍTULO DA PUBLICAÇÃO	RESULTADOS	LACUNA
2009	CRONIN, M.; GONZALEZ, C.; STERMAN, J.	Why don't well-educated adults understand accumulation? A challenge to researchers, educators, and citizens	A falha de estoque fluxo é persistente, mesmo quando se simplifica a tarefa, se apresenta em contextos cujo domínio de conhecimento é familiar, diante da realimentação de respostas erradas, de incentivos para motivar os estudantes e independe da forma como os dados são apresentados (gráficos de linha, barra, tabelas ou textos).	Investigar os elementos que disparam o uso da heurística correlacional, o processo de aprendizagem pelo qual os indivíduos adquirem a compreensão da estrutura do problema, em que medida a falha pode ser reforçada pelo sistema educacional.
2010	PHUAH, T.	Can people learn behaviors of stock and flow using their ability to calculate running total? An experimental study.	O desempenho na tarefa apresenta uma melhoria por meio do tratamento de integração gráfica, mas não para o tratamento do cálculo do total corrente.	Verificar se a habilidade desenvolvida se transfere para outros campos do conhecimento. Utilização de ferramentas de software para automatizar os procedimentos de resolução de exercícios e motivar os estudantes.
2010	STERMAN, J.	Does formal system dynamics training improve people's understanding of accumulation?	Treinamento formal em Dinâmica de Sistemas melhora o desempenho dos alunos no problema de estoque-fluxo e reduz o uso da heurística correlacional.	Investigar, na heurística correlacional, porque alguns participantes escolhem os extremos do fluxo líquido e outros os extremos do fluxo de entrada quando respondem de maneira incorreta. A melhoria do desempenho se transfere para outras áreas?
2015	FISCHER, H.; KAPMEIER, F.; KOPAINSKY, B.	"The more you see the less you get": On the importance of a higher-level perspective for understanding dynamic systems.	As respostas dos estudantes dão suporte à hipótese de que o processamento global aumenta a habilidade de inferir o comportamento global do sistema. E a apresentação numérica dos dados tem efeito sobre o resultado.	Replicar o teste da apresentação global e da apresentação numérica em tarefas com a mesma estrutura das tarefas de estoque-fluxo em diferentes domínios de aplicação.
2015	BAGHAEI LAKEH, A.; GHAFFARZADE GAN, N	Does analytical thinking improve understanding of accumulation?	Melhoria marginal no desempenho da tarefa de estoque fluxo quando o respondente tem que responder uma questão analítica imediatamente antes da tarefa da loja de departamentos.	São necessárias mais análise empíricas antes que os resultados possam ser generalizados.

Fonte: Autor

Para testar a capacidade de identificar relações entre estoque e fluxo, Sweeney e Sterman (2000) desenvolveram dois testes e para cada um deles dois enunciados, um relativo à dinâmica da banheira (*bathub dynamics*) e outro relativo ao fluxo de caixa (*cash flow*). Os testes diferiam basicamente na "forma de onda" que caracterizava o fluxo de entrada sendo, num caso quadrada e no outro triangular. A Figura 11, mostra o teste relativo à dinâmica da banheira, enquanto a Figura 12 reproduz o teste do fluxo de caixa que aparecem no artigo original de Sweeney e Sterman (2000).

Figura 11 – Teste da banheira de fluxo-estoque desenvolvido por Sweeney e Sterman.



Fonte: Sweeney e Sterman, 2000, p. 253.

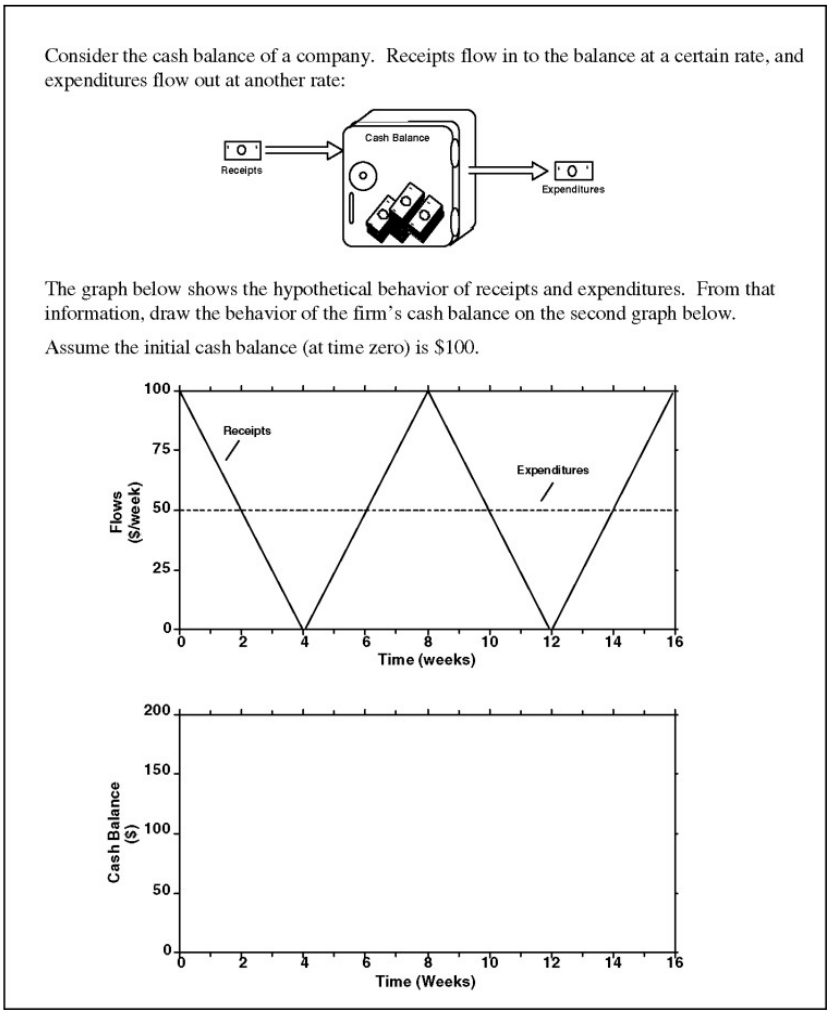
Os critérios utilizados por Sweeney e Sterman (2000) para avaliar os resultados no caso do teste 1 estão apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 – Critérios utilizados por Sweeney e Sterman

Critério	Descrição
1	Quando o fluxo de entrada excede o fluxo de saída, o estoque é crescente.
2	Quando o fluxo de saída excede o fluxo de entrada, o estoque é decrescente.
3	Os picos e vales do estoque ocorrem quando o fluxo líquido cruza o nível zero.
4	O estoque não deve mostrar nenhum salto descontínuo (ele é contínuo).
5	Durante cada segmento o fluxo líquido é constante, portanto o estoque deve crescer ou decrescer linearmente.
6	A inclinação do estoque durante cada segmento é igual ao fluxo líquido por un. de tempo.
7	A quantidade adicionada ao (retirada do) estoque é igual à área abaixo (acima) do fluxo líquido, em cada segmento

Fonte: Sweeney e Sterman, 2000, p. 254-255, tradução nossa.

Figura 12 – Teste do fluxo de caixa de fluxo-estoque desenvolvido por Sweeney e Sterman



Fonte: Sweeney e Sterman, 2000, p. 254

Esses testes foram aplicados a alunos do MIT Sloan School of Management, que possuem uma formação excepcionalmente forte em matemática e ciências quando comparados à população em geral, com os seguintes resultados:

> Os resultados indicam fortemente que sujeitos altamente educados com treinamento extensivo em matemática e ciências têm uma compreensão pobre de alguns dos conceitos mais básicos da dinâmica de sistemas, especificamente, estoques e fluxos, atrasos de tempo e realimentação. Os erros são altamente sistemáticos e indicam violações de princípios básicos, não apenas erros de cálculo. Como mostramos, o desempenho destes estudantes foi muito pobre e os estudantes exibem erros sistemáticos persistentes na sua compreensão destes blocos básicos de construção dos sistemas complexos. A prevalência ampla de tais déficits coloca desafios significativos aos educadores e organizações que buscam desenvolver o pensamento sistêmico ou modelos formais para endereçar questões prementes (SWEENEY; STERMAN, 2000, p. 278, tradução nossa).

De acordo com Sweeney e Sterman (2000), a explicação usual para esse fraco desempenho é a racionalidade limitada, i. e., a incapacidade de lidar com a complexidade do sistema e das inúmeras interações entre as partes. Esta explicação pressupõe a compreensão dos conceitos básicos e de suas relações tais como fluxo e estoque e atrasos de tempo, no entanto esses autores afirmam que os resultados obtidos "[...] desafiam essa visão, sugerindo que o problema que as pessoas têm com a dinâmica são mais básicos e, talvez, mais difíceis de superar" (SWEENEY; STERMAN, 2000, p. 251, tradução nossa).

Como parte desta revisão de estudos anteriores é importante registrar alguns erros cometidos pelos estudantes da amostra utilizada por Sweeney e Sterman (2000):

a) Incapacidade de relacionar o fluxo líquido (entrada - saída) à mudança no estoque.
b) Alguns estudantes mostram uma evolução descontínua do estoque em correspondência às mudanças do fluxo de entrada.
c) "Pensamento de planilha" ("*spreadsheet thinking*") assumindo que a mudança ocorre abruptamente entre os períodos de tempo, como em uma planilha onde o tempo é dividido em intervalos discretos. (Associado ao teste de fluxo de caixa).
d) Muitos sujeitos desenharam trajetórias de estoque que reproduziam o padrão do fluxo líquido.

Sweeney e Sterman (2000) conjecturam que aqueles estudantes que não compreendem os conceitos se apoiam numa heurística que faz com que a forma da saída se assemelhe à forma da entrada e que a formação em matemática não se traduz em uma compreensão intuitiva dos conceitos de acumulação, estoques e fluxos. Eles argumentam que a forma da apresentação dos problemas não pode ser considerada fora do contexto natural para os estudantes que lidam

constantemente com planilhas de cálculo e gráficos para projetar faturamento, gastos, fluxos de caixa e contratações e citam exemplos de erros semelhantes aos cometidos pelos estudantes da amostra por órgãos oficiais que definem políticas públicas. De acordo com esses autores, as implicações destes achados, para os educadores, são que aparentemente deve-se investir consideravelmente mais tempo sobre os conceitos básicos de fluxo, estoque, atrasos de tempo e feedback, com uma ênfase no **desenvolvimento da intuição** (grifo nosso) do que na matemática envolvida nessas questões. Sweeney e Sterman concluem sugerindo:

> [...] Nossa sugestão é que devem ser dadas aos estudantes extensivas oportunidades para exercitar na prática a identificação e mapeamento de estruturas de fluxo e estoque e de integração e diferenciação gráfica. [...] Estes achados espelham resultados similares a respeitos de outros vieses de concepção a respeito de uma variedade de conceitos como probabilidade e as leis de Newton. (Grotzer 1993; Grotzer and Bell 1999). […]. Ao mesmo tempo, os educadores do ensino fundamental (K-12) podem também aprender de nossos resultados. Francamente, os conceitos de acumulações, atrasos de tempo são tão básicos que deveriam ser bem entendidos no momento em que os estudantes ingressam na universidade [...] (SWEENEY; STERMAN, 2000, p. 282, tradução nossa).

Sweeney e Sterman (2000) concluem reconhecendo que estes resultados são preliminares, que necessitam de protocolos para avaliar outras dimensões do pensamento sistêmico, bem como também, testar de que forma o desempenho é afetado por fatores como, gênero, educação prévia, e experiência, e também com a proposição de estender a amostra de estudantes de ensino médio a gerentes como forma de obter informações valiosas sobre a fonte da aprendizagem das pessoas a respeito destes conceitos.

Tomando como base no trabalho de Sweeney e Sterman (2000), Ossimitz (2002) realizou um estudo com 154 estudantes universitários austríacos. Ele apresentou aos 154 estudantes seis tarefas diferentes, das quais algumas requeriam a habilidade de ler e interpretar gráficos e outras não, duas dessas tarefas foram retiradas diretamente do estudo de Sweeney e Sterman (2000). Os resultados desse estudo confirmaram a dificuldade de compreensão das relações entre estoque e fluxo.

> Os achados deste estudo foram alarmantes. Na primeira tarefa, que lida com a diferença entre o déficit público federal (um fluxo líquido) e a dívida pública (um estoque) o desempenho médio dos candidatos (sic) foi aproximadamente do mesmo nível como se eles tivessem lançado uma moeda para cada resposta. De forma geral o estudo mostrou déficits severos na habilidade de discernir entre estoques e fluxos (OSSIMITZ, 2002, p. 2, tradução nossa).

O estudo de Ossimitz (2002) apresenta alguns resultados que devem ser investigados mais profundamente como, por exemplo, uma diferença significativa no desempenho em

função do gênero, algumas correlações entre os critérios de avaliação, a independência de resultados da tarefa "Preenchimento de um tanque de óleo" (*Filling of an Oil tank* - FO), em relação aos resultados das outras tarefas e, também, algumas indicações de que alguns dos problemas apontados podem ser devidos a deficiências na interpretação de gráficos de fluxos.

Os resultados obtidos por Ossimitz (2002), motivaram Kainz e Ossimitz (2002) a empreenderem novo estudo sobre o problema de estoque-fluxo que tinha dois objetivos principais: a) avaliar se as dificuldades em resolver os problemas de estoque fluxo estavam relacionadas com deficiências na capacidade de ler e interpretar gráficos corretamente e b) avaliar se um tratamento curto que apresentasse as propriedades e as principais diferenças entre estoque e fluxo seria capaz de provocar o aprimoramento no desempenho dos estudantes em um estudo experimental com delineamento de pesquisa pré-teste/pós-teste. Para a realização desse delineamento experimental eles desenvolveram cinco tarefas. O Quadro 8 é uma síntese da sequência de tarefas apresentadas no pré e no pós-teste, sendo que a tarefa D reproduzia o teste realizado por Sweeney e Sterman (2000).

Quadro 8 – Tarefas do delineamento experimental de Kainz e Ossimitz

Table 1
Succession of tasks and conditions of the pre- and posttest

	Condition Pretest		**Condition Posttest**	
Task A	Water Butt Flow	WBF	Maier's Bath Tub Flow	MBTF
Task B	Tabular Hospital	THP	Tabular Parking Lot	TPL
Task C	Graphic Parking Lot	GPL	Graphic Hospital	GHP
Task D	Surge Tank	ST	Bath Tub	BT
Task E	Maier's Bath Tub Stock	MBTS	Water Butt Stock	WBS

Fonte: Kainz e Ossimitz, 2002, p.4.

A **Tarefa A** foi projetada para testar a capacidade dos sujeitos de compreenderem informações sobre fluxo e estoque fornecidas em um texto escrito e elaborar corretamente os gráficos de fluxo de entrada e saída correspondentes. O objetivo da **Tarefa B** era verificar se os sujeitos seriam capazes de calcular o fluxo líquido a partir dos dados apresentados em uma tabela e determinar o ponto, no tempo, quando o estoque atinge seu nível máximo. A **Tarefa C** apresentava os dados de fluxos de entrada e saída em forma gráfica e tinha o mesmo objetivo da tarefa anterior, para verificar eventuais diferenças em função da forma da apresentação dos dados. A **Tarefa D** reproduzia o protocolo utilizado por Sweeney e Sterman (2000) e se destinava a avaliar o desempenho a habilidade de integração gráfica dos estudantes. A **Tarefa E** foi elaborada para testar a compreensão dos participantes sobre as relações de fluxo e estoque.

O Quadro 9 mostra os resultados apresentados no estudo de Kainz e Ossimitz (2002) para a **Tarefa D**.

Ao avaliar os resultados gerais obtidos nas cinco tarefas, Kainz e Ossimitz (2002) admitem que o seu estudo experimental apresenta algumas deficiências sérias, entre as quais citam a ausência de um grupo de controle e a garantia de que os testes utilizados antes e depois do tratamento são equivalentes em dificuldade, o que poderia ter sido eliminado utilizando alternadamente um e outro como pré e pós-teste. Apesar disto eles consideram que houve uma melhoria de desempenho a partir da intervenção de 90 minutos para explicar as noções fundamentais de fluxo e estoque:

> Nos encontramos um aprimoramento significativo no desempenho para todas as cinco tarefas (exceto para a questão II e III da **Tarefa THP/TPL** e questões II e III da **Tarefa GPL/GHP**, respectivamente). Certamente, estes achados são preliminares e investigações adicionais e otimização das medidas da intervenção são necessários, mas os resultados parecem permitir uma visão otimista de que intervenções projetadas para desenvolver as habilidades do pensamento sistêmico podem ser capazes de superar as deficiências fundamentais nestas capacidades (KAINZ; OSSIMITZ, 2002, p.20, tradução nossa).

Quadro 9 – Resultados do estudo Kainz e Ossimitz para a **Tarefa D**

Table 13
Performance on the ST and BT conditions

Criterion	Pretest Ave	Posttest Ave	t	p
1 When the inflow exceeds the outflow, the stock is rising.	0.38	0.59	- 2.90	< 0.01
2 When the outflow exceeds the inflow, the stock is falling.	0.36	0.59	- 3.21	< 0.01
3 The peaks and troughs of the stock occur when the net flow crosses zero (i.e. at t = 4,8,12,16)	0.39	0.59	- 2,86	< 0.01
4 The stock should not show any discontinuous jumps.	0.75	0.78	- 0.44	> 0.05
5 During each segment the net flow is constant so the stock must be rising (falling) linearly.	0.34	0.63	- 4.10	< 0.01
6 The slope of the stock during each segment is the net rate (i.e. ± 25 units/time period)	0.16	0.31	- 2.61	< 0.05
7 The quantity added to (removed from) the stock during each segment is 100 units, so the stock peaks at 200 units and falls to a minimum of 100 units.	0.16	0.31	- 2.61	< 0.05
Mean for all items	**0.36**	**0.54**	**- 3.21**	**< 0.01**

Fonte: Kainz e Ossimitz, 2002, p.16.

Apesar das deficiências do estudo, Kainz e Ossimitz (2002) afirmam que acreditam ter identificado alguns achados interessantes que são enumeradas a seguir, uma vez que alguns

desses elementos poderão ser úteis para construir e fundamentar o modelo explicativo a ser proposto:

a) Os estudantes consideram mais fácil, a partir de um texto escrito, elaborar o gráfico de estoque do que os gráficos os fluxos de entrada e saída;
b) Dados os fluxos de entrada e saída em forma de tabela ou em forma de gráfico, os estudantes tiveram um desempenho muito superior ao determinar o ponto máximo de estoque a partir dos dados fornecidos em forma de tabela;
c) O desempenho dos estudantes, no estudo de Kainz e Ossimitz (2002) foi superior ao das estudantes indicando uma correlação entre gênero e desempenho.

Finalmente, Kainz e Ossimitz (2002) conjecturam que os modos de apresentação dos dados não conduzem a diferenças no desempenho dos estudantes até que um certo nível de dificuldade é ultrapassado.

Baseados na hipótese de que a postura complacente em relação à mudança climática decorre da falta de habilidade de pensar sistemicamente, Sterman e Sweeney (2002) retomam o problema de fluxo-estoque, envolvido na questão de emissão e concentração de CO_2 na atmosfera:

> Nos apresentamos a adultos altamente educados matriculados em programas de graduação universitária descrições do clima e dados de emissões passados, concentração de CO_2 na atmosfera e temperatura média global e então pedimos para eles que identifiquem a resposta provável do sistema a vários cenários de emissões ou concentrações de CO_2. As pessoas têm um desempenho pobre nestas tarefas simples. (STERMAN; SWEENEY, 2002, p. 208, tradução nossa).

A partir das informações apresentadas, foi solicitado aos alunos a solução de duas tarefas que Sterman e Sweeney (2002) denominam: “Emissão Zero” e “Estabilização da concentração”.

Deve ser salientado que a complexidade da tarefa apresentada neste experimento é, sem dúvida, maior do que a da tarefa apresentada em Sweeney e Sterman (2000), uma vez que o sistema do clima envolve não só a estrutura de estoque-fluxo, mas também estruturas de realimentação e ainda atrasos de tempo de resposta. Mesmo assim, Sterman e Sweeney (2002) identificam que nas duas tarefas deste experimento muitas pessoas fazem corresponder a forma (do gráfico) de saída do sistema à forma (do gráfico) da entrada, uma heurística que conduz a erros grosseiros em sistemas com estruturas de estoque-fluxo, e atrasos de tempo.

De importância fundamental para o presente estudo são algumas conclusões de Sterman e Sweeney (2002). Eles concordam que as pessoas podem ter desempenhos diferenciados em função da familiaridade do contexto da tarefa, uma vez que a capacidade de interpretar situações e tomar decisões evoluem dentro de determinados ambientes e, portanto, o desempenho não se "transfere necessariamente para outras situações mesmo quando sua estrutura lógica é a mesma" (STERMAN; SWEENEY, 2002, p. 232, tradução nossa). Um terceiro aspecto que Sterman e Sweeney (2002) colocam é que, de fato, a partir de uma perspectiva evolucionária, esses erros deveriam ser esperados, uma vez que é muito mais eficiente resolver o problema de encher uma banheira monitorando o nível e fechando a torneira quando a água atinge o nível desejado, isto corresponde a um sistema com realimentação negativa de primeira ordem, sem a necessidade de entender a relação entre fluxo e estoque:

> Como Laplace apontou, "A natureza ri das dificuldades de integração". Isto é, os estoques na natureza sempre acumulam corretamente seus fluxos mesmo quando os matemáticos não podem resolver as equações de movimento para o sistema. Portanto, para uma grande variedade de tarefas do dia-a-dia, os tomadores de decisão não necessitam inferir como os fluxos se relacionam com os estoques -é melhor simplesmente esperar e ver como o estado do sistema muda e, então, tomar a ação corretiva. Nessas situações a compreensão intuitiva de estoques e fluxos não oferece nenhum valor de sobrevivência e tem pouca probabilidade de evoluir (STERMAN; SWEENEY, 2002, p. 232, tradução nossa).

Ao discutir os resultados do experimento, Sterman e Sweeney (2002) apresentam três elementos que reproduzem algumas características da psicologia do desenvolvimento de Jean Piaget, quando descreve as transições entre estágios de desenvolvimento: a) fixação na dimensão dominante; b) necessidade de operar para desenvolver as estruturas cognitivas e c) a noção de *decalage* horizontal.

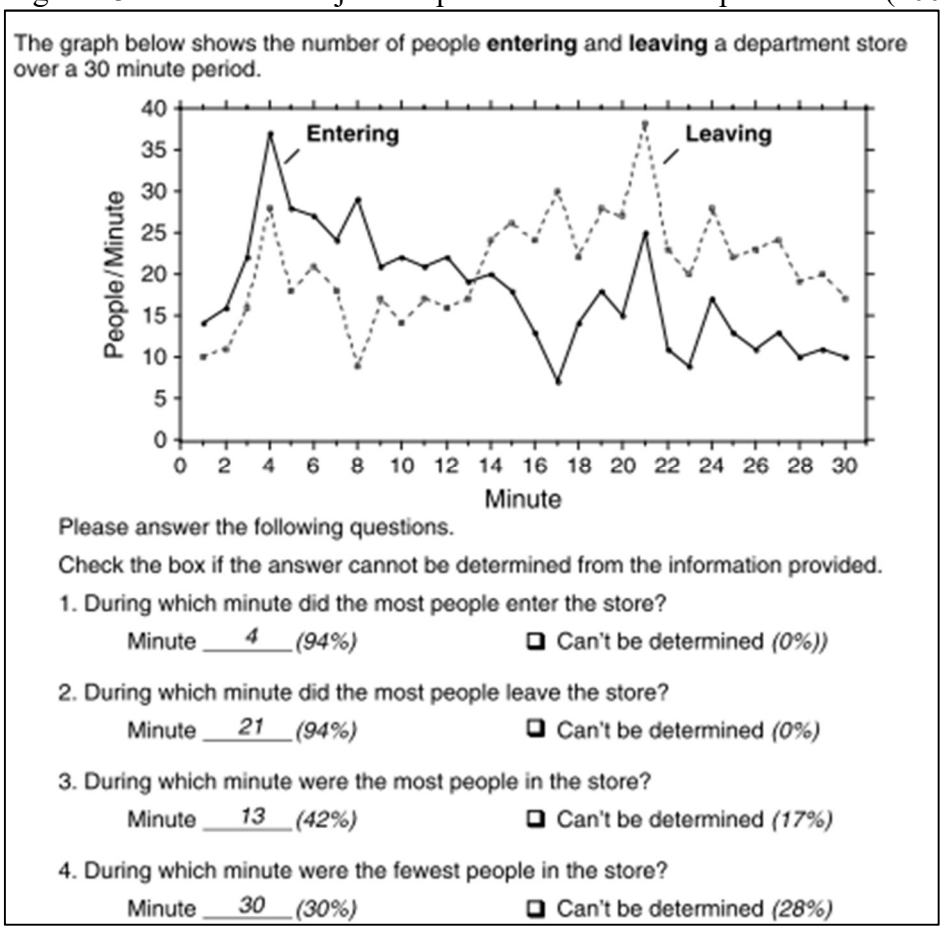
A partir dos resultados de estudos anteriores, Pala e Vennix (2005) procuram identificar o efeito de um curso introdutório de dinâmica de sistemas no desempenho dos estudantes em três testes do questionário de habilidades de pensamento sistêmico, loja de departamentos, fabricação e emissão zero de CO_2. Para isto utilizaram um delineamento experimental com pré-teste, tratamento e pós-teste, sendo que para a primeira tarefa (loja de departamentos) utilizaram um grupo controle.

Os resultados das duas últimas tarefas (mais complexas) foram surpreendentes mostrando que o desempenho dos estudantes foi pior depois do tratamento. Como estas duas tarefas incluem habilidades adicionais do pensamento sistêmico (realimentação e atraso de efeito) e o presente estudo tem foco exclusivo na relação estoque-fluxo, discutiremos em detalhe, apenas, os resultados do primeiro teste, isto é, o da loja de departamentos que necessita

apenas da compreensão da relação estoque-fluxo para ser corretamente respondido e reedita a tarefa desenvolvida por Sterman (2002).

A Figura 13 mostra o teste da loja de departamentos na versão original publicado por Sterman (2002) e consiste em, dados os gráficos de ingresso e saída de clientes numa loja, identificar os intervalos de tempo em que: a) entra o maior número de clientes; b) sai o maior número de clientes; c) há o maior número de clientes dentro da loja e d) há o menor número de clientes dentro da loja.

Figura 13 – A tarefa da loja de departamentos utilizada por Sterman (2002)



Fonte: Sterman, 2002, p. 510

Os resultados obtidos por Pala e Vennix (2005), são apresentados no Quadro 10 e mostram que a maioria dos estudantes, tanto do grupo experimental como o de controle, responderam corretamente as questões 1 e 2, o que indica que interpretam corretamente os gráficos de fluxo, no entanto os resultados para as questões 3 e 4 foram muito baixos, confirmando os resultados observados em estudos anteriores. Como pode ser observado no Quadro 10 o desempenho do grupo experimental foi melhor que o do grupo controle tanto no pré-teste, quanto no pós-teste, sendo que os pesquisadores não esperavam a diferença inicial

observada no pré-teste, nem a evolução do grupo controle uma vez que não foi submetido ao tratamento, todavia, por meio da análise da variância aplicada aos resultados obtidos eles verificam que há uma diferença estatisticamente significativa entre a melhoria do desempenho dos dois grupos, sendo que a evolução do grupo controle foi superior e, portanto, pode ser atribuída ao tratamento (curso introdutório de dinâmica de sistemas).

Quadro 10 – Resultados na tarefa da loja de departamentos obtidos por Pala e Vennix (2005)

		Pre-test				Post-test			
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
Control group	Correct answer	100	96.92	**20**	**9.23**	100	96.92	**32.31**	**20**
	Cannot be determined	0	0	38.46	43.08	0	0	32.31	36.92
Experimental group	Correct answer	99.38	96.27	**37.89**	**26.71**	100	96.89	**60.25**	**45.34**
	Cannot be determined	0.62	0.62	29.19	34.16	0	0	15.53	28.57

Fonte: Pala e Vennix, 2005, p. 150

No entanto, eles ressaltam que, apesar do tratamento, o desempenho apresentado é, ainda muito baixo, e também chamam a atenção à diferença entre o desempenho nas questões três e quatro, uma vez que a resposta correta da quarta questão envolve além da lógica envolvida na questão três a comparação das áreas entre as curvas antes e depois do instante 13. Ao tabular as respostas erradas, eles confirmam a observação feita por Sweeney e Sterman (2000) e por Kainz e Ossimitz (2002), a maioria das respostas erradas para as questões três e quatro coincide com o maior fluxo positivo e o maior fluxo negativo respectivamente.

Como lacunas a serem pesquisadas em futuros estudos eles relacionam à diferença de resultado entre as questões três e quatro, e colocam como hipótese a sugestão apresentada por Kainz e Ossimitz (2002), que observaram uma melhora no desempenho quando os dados são apresentados na forma de tabela e não de gráfico, o que permitiria maior facilidade para calcular o total corrente. Eles sugerem, ainda, que uma vez que existem questões que a maioria dos sujeitos respondeu de forma equivocada, é importante compreender as dificuldades dos alunos e a forma como eles pensam. Pesquisas futuras se beneficiariam ao incluir questões abertas ou protocolos verbais, solicitando aos estudantes que expliquem em voz alta a forma como eles inferem as respostas.

> Obter uma melhor compreensão dos padrões de pensamento pode auxiliar a melhorar o projeto de cursos de dinâmica de sistemas mais adequados. Mais ainda, podemos ser capazes de trazer para a superfície mudanças mais sutis no conhecimento de nossos

> estudantes como resultado dos cursos que eles frequentam (PALA; VENNIX, 2005, p. 169, tradução nossa).

Cronin e Gonzalez (2007) procuram esclarecer porque os estudantes têm dificuldade em perceber corretamente a relação entre estoque e fluxo. Por meio de três estudos experimentais, eles procuram verificar se a familiaridade com o conteúdo, a motivação para resolver o problema, ou apresentação gráfica afetam a compreensão dos participantes. Eles concluem que nem a familiaridade do domínio do conhecimento, nem a motivação afetam o desempenho dos e, aparentemente a apresentação gráfica "parece dirigir a atenção para os fluxos e não para os estoques, preparando o palco para erros subsequentes" (CRONIN; GONZALEZ, 2007, p. 1, tradução nossa), chamando a atenção para que futuras pesquisas investiguem os aspectos envolvidos na representação do problema, por exemplo sua formulação por meio de representações textuais ou físicas e não gráficas.

Partindo do princípio que a primeira etapa para resolver um problema é criar uma representação do mesmo, Cronin e Gonzalez (2007), modificam a tarefa criada por Sterman (2002), alterando o domínio do conhecimento envolvido, de uma loja de departamentos, onde entram e saem clientes, para uma conta bancária, onde os fluxos de entrada e saída correspondem a depósitos e saques, respectivamente, de forma a situar o problema num domínio de conhecimento que ofereça grande familiaridade para todos os participantes, e formulam a sua primeira hipótese: "Hipótese 1: As pessoas terão melhor desempenho ao interpretar gráficos de sistemas dinâmicos quando o sistema representado é comumente compreendido em termos de estoques e fluxos" (CRONIN; GONZALEZ, 2007, p. 4, tradução nossa).

Partindo do princípio que o esforço de pensamento melhora o resultado e associando esse esforço a um incentivo para obter a motivação dos participantes, esses autores formulam sua segunda hipótese: "Hipótese 2: O aumento do esforço de pensamento melhorará o desempenho na compreensão de sistemas dinâmicos" (CRONIN; GONZALEZ, 2007, p. 5, tradução nossa). Confirmando os achados anteriores, Cronin e Gonzalez (2007) concluem que nem o esforço dispendido nem a familiaridade do contexto do problema têm algum efeito sobre a compreensão da relação entre fluxo e estoque, e com isto refutam a segunda hipótese, argumentando que o experimento inicial em conjunto com resultados dos seguintes permite refinar a primeira hipótese que poderia ser formulada como: "as pessoas cometem erros porque constroem a representação inadequada do problema" (CRONIN; GONZALES, p.7, tradução nossa).

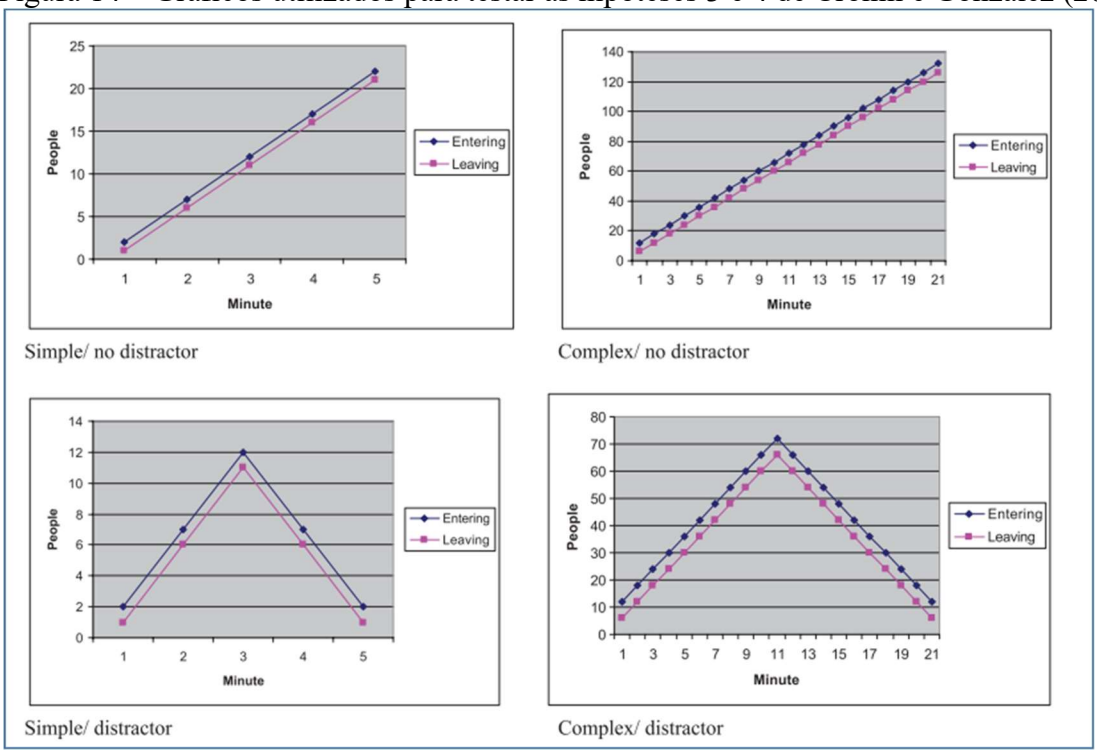
Quadro 11 – Percentual de acertos do primeiro experimento de Cronin e Gonzalez

Cover	Motivation	Questions			
		Enter	Leave	Full	Empty
Store	Low	93%	93%	41%	33%
	High	89%	89%	33%	33%
Bank	Low	100%	100%	32%	29%
	High	93%	100%	43%	43%

Fonte: Cronin e Gonzalez, 2007, p. 6

Para testar a influência da complexidade e da forma do gráfico sobre o desempenho, Cronin e Gonzalez (2007) formulam mais duas hipóteses, testadas por meio de um experimento em que manipulam o número de pontos no gráfico de forma a facilitar a resolução do problema e a forma do gráfico apresentando em um deles alguns pontos de saliência que se destinam a chamar a atenção dos participantes funcionando como um ponto de distração e elaboram as hipóteses 3 e 4 enunciando que os participantes terão maior sucesso nos gráficos em que há menos pontos e menos sucesso nos gráficos que incluem pontos de distração (CRONIN; GONZALEZ, 2007).

Figura 14 – Gráficos utilizados para testar as hipóteses 3 e 4 de Cronin e Gonzalez (2007)



Fonte: Cronin e Gonzalez, 2007, p.9

De maneira análoga ao experimento anterior, Cronin e Gonzalez (2007) concluem que nem a complexidade, nem a forma do gráfico tem efeito sobre o desempenho, refutando as hipóteses três e quatro. No entanto, uma observação interessante é que, enquanto no experimento um apenas 11% dos participantes responderam que as questões três e quatro (relativas ao estoque) "não podiam ser determinadas", este percentual aumentou para 56% quando as linhas que representavam os fluxos eram paralelas. Os autores concluem que:

> Esta experiência mostrou que a aparência dos gráficos tem um efeito sobre como as pessoas respondem às perguntas, mas não da forma hipotetizada. O que nós não previmos foi que o ponto mais alto para o fluxo de entrada ou para o fluxo de saída [...] significava escolher o mesmo ponto para quando o estoque estava mais vazio e mais cheio. [...] A inconsistência lógica resultante de ter o mesmo ponto como o momento em que o estoque é mais e menos cheio, acreditamos, que é o que levou as pessoas a responder "não pode ser determinado" em quase cinco vezes a taxa normal. O que também foi surpreendente foi que mesmo com cinco pontos e mesmo com duas linhas paralelas, as pessoas não compreenderam corretamente o que estava acontecendo com o estoque. (CRONIN; GONZALEZ, 2007, p. 10, tradução nossa).

Como será visto posteriormente, de maneira análoga aos experimentos relativos ao desenvolvimento do pensamento lógico realizados por Piaget e Inhelder (2013), na ausência de uma estrutura capaz de representar um todo organizado que dê conta do problema, os indivíduos passam a operar exclusivamente sobre os dados concretos que se encontram visíveis.

Cronin e Gonzalez (2007), baseados nos experimentos um e dois, concluem que a representação visual é um fator-chave para as respostas dadas e acreditam que existem outros aspectos sistemáticos nos erros cometidos pelos participantes. Tipicamente para determinar os instantes onde o estoque atinge seu máximo ou seu mínimo, os participantes escolhem os pontos de máximo fluxo de entrada, máximo fluxo de saída, ou máxima diferença entre os dois fluxos, ignorando, desta forma, o estoque acumulado anteriormente. Esta "padronização" dos erros parece ir ao encontro do que Sweeney e Sterman (2000) denominaram correspondência de padrão ("*pattern-matching*") entre fluxos e estoques. No entanto eles avaliam que essa explicação é muito geral uma vez que:

> Nos argumentamos que a correspondência de padrões é uma explicação muito genérica para caracterizar como as pessoas respondem estas questões. As pessoas realizam alguns cálculos a respeito do estoque, mas estes com frequência são construídos de forma incorreta. Também acreditamos que as pessoas ignoram a acumulação do estoque dos períodos prévios. Nós sugerimos que as a tendência das pessoas a ignorar a informação que não é dada explicitamente (FISCHHOFF; DOWNS, 1997; ROSS; CREYER, 1992) é a responsável por este erro. Portanto, as pessoas olharão para a diferença entre o fluxo de entrada e o fluxo de saída, quando raciocinam a respeito do estoque (esta informação é dada no gráfico), mas eles ignoram a acumulação no estoque. Isto implica que as pessoas irão responder de uma

> forma que é consistente com a relação instantânea entre os fluxos e o estoque (CRONIN; GONZALEZ, 2007, p. 11, tradução nossa).

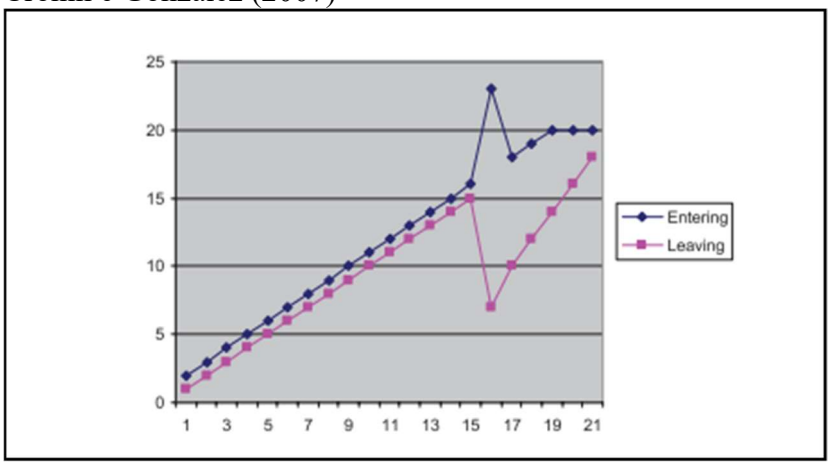
Para efeito deste estudo, é importante salientar que, de acordo com esses autores, os participantes raciocinam sobre os dados explícitos que são os fluxos e ignoram a acumulação que corresponde a uma **iteração (somatória) e a uma integração (multiplicação) no domínio do tempo**, que não está representada explicitamente no gráfico.

Com base nessas considerações, Cronin e Gonzalez formulam mais duas hipóteses:

> Hipótese 5: Os participantes que respondem incorretamente as questões a respeito do nível de estoque tem a probabilidade de escolher o ponto baseado na diferença momentânea no fluxo líquido.
> Hipótese 6: Quando há mais de dois pontos donde o máximo/mínimo do fluxo líquidos são diferentes, o número de respostas "não pode ser determinado" irá aumentar (CRONIN; GONZALEZ, 2007, p. 11, tradução nossa).

Para testar essas hipóteses Cronin e Gonzalez (2007) realizaram um terceiro experimento onde foram apresentados o gráfico da Figura 15, do experimento original de Sterman (2002), e outro gráfico, apresentado na Figura 15 que evidencia uma notória diferença líquida máxima de fluxo de entrada e múltiplos pontos de mínima diferença de fluxo líquido de saída.

Figura 15 – Gráfico utilizados para testar as hipóteses 5 e 6 de Cronin e Gonzalez (2007)



Fonte: Cronin e Gonzalez, 2007, p. 9.

Os resultados do experimento corroboraram de forma estatisticamente significativa a hipótese, indicando que as pessoas focam na diferença dos fluxos em um **ponto único no tempo**, Cronin e Gonzalez acreditam que é a "preferência pela informação dada que está na base desta questão" (CRONIN; GONZALEZ, 2007, p. 13).

Quando número de respostas “não pode ser determinado” é comparado eles não encontraram diferença entre as questões três e quatro, no entanto, encontraram uma diferença importante com o número dessas respostas em relação ao experimento um envolvendo o gráfico do experimento do Sterman (2002), mas não em relação ao número dessas respostas do experimento 2, no caso do gráfico de linhas paralelas. Ao analisar os dados, Cronin e Gonzalez afirmam que: “Estas inconsistências podem sugerir que a informação sobre fluxos de saída de alguma forma é **mais difícil** (grifo nosso) de integrar que a informação sobre os fluxos de entrada” (CRONIN; GONZALEZ, 2007, p. 13, tradução nossa). Esta observação, parece estar de acordo com definição de “total corrente” (“*running total*”) dada pelo dicionário Macmillan WEB que, curiosamente, privilegia os fluxos de entrada ignorando totalmente eventuais ocorrências de fluxos de saída *Running total: a total amount that has new amounts added to it regularly* (MACMILLAN PUBLISHER, 2015), o que corrobora que há uma predisposição a privilegiar os fluxos de entrada.

Na conclusão de seu estudo, Cronin e Gonzalez (2007) afirmam que a descoberta mais clara é que a representação visual e, em particular a representação gráfica, é a fonte dos problemas dirigindo a atenção para alguns pontos, por exemplo fluxos, sendo isto a base de erros posteriores. Afirmam, ainda, que em seus resultados observaram uma espécie de modelo mental estático que não incorpora a mudança na dimensão ao longo do tempo. Por outro lado, eles descartam complexidade computacional, familiaridade do domínio de conhecimento e esforço cognitivo como fatores que afetam o resultado observado.

Como lacunas de pesquisa que emergem deste estudo, Cronin e Gonzalez (2007) propõem o estudo das formas como os participantes codificam o problema de estoque-fluxo, o estudo de padrões de pensamento e a utilização de outros materiais, focando na construção inicial da representação mental utilizada, para verificar as relações que são estabelecidas, bem como a fonte dos erros. Eles conjecturam se o problema consiste em crenças incorretas a respeito da relação entre estoques e fluxos, ou se a causa é a representação inicial do problema e não o conhecimento ou a natureza dependente do tempo deste tipo de questão, que pode ser atribuído à dificuldade que a maioria das pessoas têm de raciocinar um ciclo ou movimento à frente, ou à dificuldade de compor os fluxos ao longo do tempo e concluem afirmando que: “na compreensão da dinâmica de sistemas uma figura pode não valer 1000 palavras” (CRONIN; GONZALEZ, 2007, p. 16, tradução nossa).

Em uma série de experimentos, Cronin, Gonzalez e Sterman (2009) inferem que uma compreensão pobre da acumulação (falha de estoque-fluxo) é um erro fundamental de raciocínio que pode ser observado, mesmo entre estudantes com sólida formação em ciências,

engenharia, tecnologia e matemática e, que essa falha, é persistente, mesmo quando se simplifica a tarefa reduzindo significativamente a carga de trabalho mental e se apresenta em contextos cujo domínio de conhecimento é familiar. A falha de estoque-fluxo independe da forma como os dados são apresentados (gráficos de barras, tabelas e textos) e, ainda, persiste diante da realimentação a respostas erradas e incentivos para motivar os estudantes. Esses autores, verificaram, ainda, que existe um padrão identificável de respostas equivocadas que denominaram "heurística correlacional" que tende a estabelecer uma correspondência entre padrão de comportamento do estoque ao longo do tempo, com o comportamento dos fluxos.

Cronin, Gonzalez e Sterman (2009) realizaram uma série de cinco experimentos, no primeiro eles testaram as seguintes hipóteses:

> a) "$H_{1.1}$: O desempenho irá melhorar em versões mais simples da tarefa com menos pontos de dados. " (CRONIN; GONZALEZ; STERMAN, 2009, p. 119, tradução nossa).
> b) "$H_{1.2}$: O desempenho irá melhorar se os dados são apresentados em forma de tabela ou em forma de texto" (CRONIN; GONZALEZ; STERMAN, 2009, p. 120, tradução nossa).
> c) "$H_{1.3}$: As pessoas terão maior sucesso ao julgar o comportamento de estoques e fluxos quando quantidades discretas são representadas por meio de elementos discretos (gráfico de barras em vez de gráfico de linhas" (CRONIN; GONZALEZ; STERMAN, 2009, p. 120, tradução nossa).
> d) "$H_{1.4}$: A apresentação dos dados em uma tabela melhorará o desempenho quando se compara com a apresentação em texto" (CRONIN; GONZALEZ; STERMAN, 2009, p. 120, tradução nossa).

Todas as hipóteses foram rejeitadas, indicando que nem a forma de apresentação de dados, nem a simplificação da tarefa (comparada com o experimento original DE SWEENEY; STERMAN, 2000), podem ser considerados fatores que melhoram o desempenho na tarefa. Não foram observadas também diferenças no desempenho quando se compara a apresentação dos dados por meio de gráfico de linha com o gráfico de barras, nem quando se confronta a apresentação por meio de tabela com texto (CRONIN; GONZALEZ; STERMAN, 2009).

Num segundo experimento, os autores testam se a falha de estoque-fluxo pode ser atribuída ao domínio de conhecimento envolvido, modificando o contexto do problema, situando em experiências cotidianas dos alunos (uma banheira e seus fluxos e dois carros e suas velocidades). Para este experimento, formulam a seguinte hipótese: "H_2: O desempenho nos contextos da banheira e dos carros será melhor que no contexto da loja de departamentos" (CRONIN; GONZALEZ; STERMAN, 2009, p. 122, tradução nossa). Os resultados não deram suporte a hipótese, indicando que um contexto mais familiar envolvendo fluxos contínuos ao invés de discretos, não melhora o desempenho na tarefa.

Para estimular o esforço cognitivo mediante a motivação dos participantes e do fornecimento de realimentação sobre erros cometidos os autores realizaram um quarto experimento, no qual foram dados incentivos monetários e feedback contingente diante de erros, no entanto, sem indicar a solução, formulando as seguintes hipóteses:

> a) $H_{3.1}$: Alta motivação irá melhorar o desempenho nas questões de estoque-fluxo (CRONIN; GONZALEZ; STERMAN, 2009, p. 122, tradução nossa).
> b) $H_{3.2}$: Realimentação que alerta os participantes diante de erros irá melhorar a taxa de sucesso nas tentativas subsequentes (CRONIN; GONZALEZ; STERMAN, 2009, p. 122, tradução nossa).

Para testar a motivação foram comparados os resultados com um grupo controle e para testar o efeito do feedback foi testado o desempenho da segunda tentativa contra o da primeira. Os resultados encontrados não deram suporte a nenhuma das duas hipóteses, como dados complementares eles informam que após **6 tentativas o desempenho "atingiu apenas 81% e 84% respectivamente"** (CRONIN; GONZALEZ; STERMAN, 2009, p. 122, tradução e grifo nossos) para as questões 3 e 4 (máximo e mínimo número de pessoas na loja). A média do número de tentativas para responder corretamente todas as questões foi 4,6 tentativas.

Vale aqui observar que, apesar dos resultados não suportarem a hipótese formulada, verifica-se que houve **aprendizagem em um intervalo relativamente curto de tempo** (uma hora).

Mediante a apresentação de uma tarefa prévia para elicitar o conhecimento latente (quando existir) sobre a relação fluxo e estoque, os autores procuraram verificar se a preparação para a tarefa tem influência sobre o desempenho no problema de estoque-fluxo e formularam a quarta hipótese: "H_4: A preparação dos participantes para notar a presença e o comportamento de estruturas de estoque e fluxo melhorará o desempenho em tarefas de estoque-fluxo subsequentes" (CRONIN; GONZALEZ; STERMAN, 2009, p. 122, tradução do autor). Em função do resultado os autores concluiram que a preparação tem algum efeito sobre aqueles que conseguem identificar a estrutura de estoque-fluxo dando suporte parcial à hipótese 4, no entanto, para aqueles que responderam corretamente à questão preparatória, o nível de acerto nas questões de estoque-fluxo, permaneceu bastante baixo.

Importante salientar que, apesar do baixo desempenho, a preparação da tarefa, facilita para muitos o **reconhecimento de um padrão** de procedimento, principalmente para aqueles que já dominam o procedimento.

Para caracterizar o fenômeno observado em diversos experimentos denominado "heurística correlacional", os autores realizaram um quinto experimento no qual testam a

hipótese de que, entre as respostas equivocadas, aquelas que selecionam como máximo e mínimo do estoque, os pontos onde os fluxos líquidos (entrada-saída) são máximos serão maiores quando os dados são apresentados na forma de gráfico de linha em relação às outras formas de apresentação de dados. Os autores concluem que a hipótese "é suportada, indicando que o uso do raciocínio correlacional aumenta com a saliência do máximo nos dados do fluxo líquido" (CRONIN; GONZALEZ; STERMAN, 2009, p. 125, tradução do autor). Cabe observar que a facilidade com que são observados dados extremos elicita a heurística da correlação, fazendo uma correspondência de máximo (mínimo) fluxo líquido a máximo (mínimo) estoque, fenômeno semelhante é observado em crianças que ao construir algumas dimensões **não atingiram a conservação** em relação a aquele conteúdo.

Cronin, Gonzalez e Sterman (2009) testam, ainda, a hipótese se o uso da heurística correlacional aumenta com a dificuldade da tarefa realizando um experimento com 8 tratamentos onde solicitam a elaboração do gráfico do estoque dados os gráficos dos fluxos de entrada e de saída, confirmando a hipótese e verificando que quando a questão envolve o desenho do gráfico de estoque, há uma prevalência daquelas que fazem corresponder a curva do estoque à curva do fluxo líquido, dentro das respostas erradas.

Os resultados dos experimentos levados a cabo por Cronin, Gonzalez e Sterman (2009), demonstram um problema importante e comum no raciocínio humano: a incapacidade de compreender o processo pelo qual fluxos de entrada e saída se acumulam num estoque ao longo do tempo. Este problema independe da forma de apresentar os dados, da familiaridade do contexto, da motivação para o esforço cognitivo, da capacidade de interpretar e construir gráficos e da capacidade cognitiva limitada em relação à complexidade da tarefa.

Na conclusão, esses autores dão pouca ênfase a duas constatações importantes:

a) O **fornecimento de feedback**, indicando ao participante que sua resposta está errada, melhora o desempenho, embora os autores considerem esse aprimoramento lento (uma hora);
b) A preparação para a tarefa, apresentou também uma melhoria pequena, mas estatisticamente significativa, sinalizando que, em alguns casos, facilita o **reconhecimento de um padrão de problema**.

Para futuros estudos, os autores propõem como lacunas de conhecimento (CRONIN; GONZALEZ; STERMAN, 2009):

a) A investigação dos elementos que disparam ou inibem o uso da heurística correlacional;

b) O processo de aprendizagem, por meio do qual os indivíduos adquirem a compreensão e o uso da estrutura profunda do problema;
c) Explorar, em que medida a falha de estoque-fluxo pode ser reforçada pelo sistema educacional;
d) Desembaraçar as interações entre estruturas cognitivas inatas, educação escolar e outras experiências na gênese da falha de estoque-fluxo.

Na conclusão do artigo, os autores retomam os aspectos globais do problema e propõem com principal desafio: "Descobrir métodos efetivos [...] para melhorar a habilidade de compreender e gerenciar sistemas complexos que afetam nossa vida pessoal, nossas organizações e nossa sociedade" (CRONIN; GONZALEZ; STERMAN, 2009, p. 129, tradução nossa).

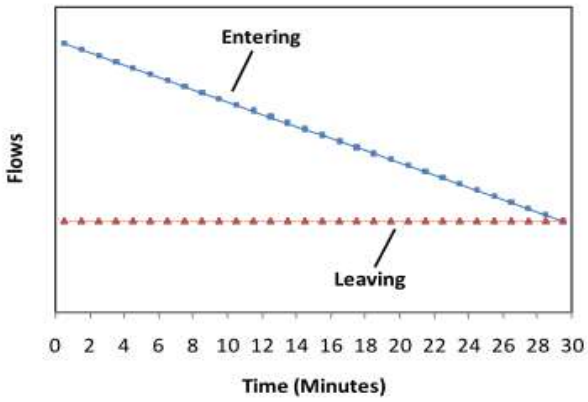
Phuah (2010) parte do princípio que, embora os estudantes tenham um fraco desempenho em testes que envolvem a relação estoque-fluxo, muitos deles têm a noção de acumulação mediante o cálculo do total corrente e apresenta um delineamento experimental envolvendo um pré-teste, tratamento e pós-teste para testar a hipótese de que haverá uma melhoria na compreensão do comportamento da relação estoque-fluxo quando se solicita que verifiquem sua resposta inicial ao problema, calculando analiticamente o total corrente e que reflitam, sempre que sua expectativa inicial do comportamento não seja confirmada. Os resultados deste tratamento são comparados com os resultados do tratamento por meio da instrução do procedimento de integração gráfica e com um grupo controle.

Os resultados obtidos por Phuah (2010) mostraram que a melhoria do tratamento por meio do cálculo do total corrente não é significativa, enquanto que da instrução da integração gráfica mostrou uma diferença considerável.

É importante observar que a forma de orientação gráfica proposta por Phuah (2010), como mostra a Figura 16, procura justamente estabelecer uma relação entre os fluxos para, a partir dessa relação, inferir a variação do número de pessoas (estoque), no entanto, ele não aborda a compreensão profunda do princípio básico da integração gráfica que significa: a) identificar e elaborar o gráfico das diferenças e b) a elaboração da coordenação da multiplicação das dimensões representadas, resultando na área (integral da função resultante das diferenças no tempo) o que implica em mudança de unidade, ao multiplicar as duas dimensões envolvidas na área que representa a integral. Verifica-se também que a instrução sobre integração gráfica praticamente reproduz o pós-teste, o que não invalida os resultados obtidos do ponto de vista de aprendizagem.

Figura 16 – Modelo de exercício de instrução de integração gráfica

The graph below shows the number of people **entering** and **leaving** a supermarket over a 30 minute period.

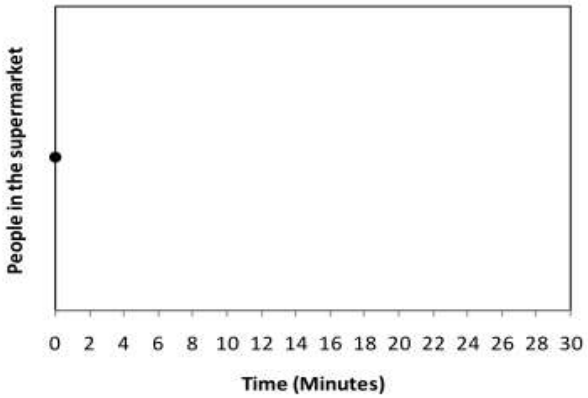


a. Which flow is larger? ☐ Entering larger than leaving ☐ Leaving larger than entering ☐ Both same

b. In what direction will the number of people in the supermarket change?
☐ Increase ☐ Decrease ☐ No change

c. (Skip this if no change) How will the change in the number of people be?
☐ increase or decrease at a faster and faster rate ☐ increase or decrease at a slower and slower rate
☐ increase or decrease at a constant rate

d. In the space below, graph the number of people in the supermarket over the 30 minute interval. You do not need to specify numerical values. The dot at time zero shows the initial number of people in the supermarket.



Please raise your hand after having completed this question. Do not continue to the next question before administrator has commented on your answer.

Fonte: Phuah, 2010, p. 9.

Phuah (2010) propõe como lacuna de pesquisa verificar se a habilidade desenvolvida transfere-se para outros campos do conhecimento e recomenda a automação dos exercícios propostos como forma de melhorar a motivação dos estudantes evitando as repetições tediosas e sujeitas a erros envolvidas nos exercícios propostos.

Sterman (2010) retoma o problema de estoque-fluxo. Ele parte da constatação, amplamente confirmada pela pesquisa, sobre a dificuldade que as pessoas têm para concluir

intuitivamente que um estoque aumenta quando o fluxo de entrada é maior que o de saída e que diminui em caso contrário, utilizando frequentemente a heurística da correlação, concluindo que o estoque resultante está correlacionado com suas entradas. A partir de um estudo experimental, ele testa o impacto de um curso introdutório de dinâmica de sistemas sobre a compreensão intuitiva da acumulação.

Antes de apresentar os resultados ele apresenta quatro argumentos que sugerem que o curso de dinâmica de sistemas não seria efetivo para o propósito desejado:

a) Estudos anteriores mostram que mesmo pessoas com educação extensiva em ciências, matemática, incluindo cálculo, onde a acumulação é um conceito central, têm fraco desempenho em tarefas de estoque-fluxo;
b) É difícil para as pessoas transferir "insights" de um domínio de conhecimento para outro mesmo quando os problemas têm uma estrutura isomórfica;
c) Como sugerido por Cronin, Gonzales e Sterman (2009), a falha de estoque-fluxo pode ser semelhante a vieses de avaliação de probabilidades constatados na literatura;
d) O raciocínio correlacional pode ter tido alto valor de sobrevivência para os antigos humanos.

Neste ponto, Sterman (2010) questiona sobre o processo de aprendizagem: se o conceito de acumulação é central no curso de cálculo, porque os estudantes não conseguem resolver problemas tão simples como o da loja de departamentos proposto por Cronin?

O autor do presente estudo situa, neste ponto, um dos problemas mais importantes do processo educacional atual: **a dissociação do símbolo do seu contexto.** Os cursos e livros de cálculo integral dão pouca ênfase ao significado da operação e às aplicações fora da física, ambos passam de forma rápida sobre o significado geométrico da área sob a curva e seu significado como acumulação que, entre outras coisas, exige a mudança de unidade de medida pois corresponde à multiplicação das dimensões consideradas.

Os resultados apresentados por Sterman (2010) mostram, na Figura 17, uma acentuada melhoria, estatisticamente significativa, tanto na compreensão da acumulação quanto na redução do uso da heurística correlacional, pelo que ele conclui que uma pequena exposição ao problema melhora a compreensão da acumulação, pelo menos entre adultos altamente educados. Como lacunas de conhecimento a serem investigadas, Sterman (2010) propõe que se verifique por que uma grande quantidade (25%) dos estudantes não consegue resolver corretamente o problema e, ainda, pesquisar se as melhorias demonstradas são duráveis e se transferem para o cotidiano dos estudantes no seu ambiente natural, mediante pesquisas longitudinais.

Figura 17 – Resultados do pós-teste Sterman 2010

Table 3. Graphical department store task: post-test results (fall 2008) compared to results from first day of class in fall 2007 (Cronin *et al.*, 2009). "Condition" refers to the pattern of inflow and outflow received (Fig. 3)

	Incorrect		Percent incorrect exhibiting correlation		*N*	
Condition	Fall 2008	Fall 2007	Fall 2008	Fall 2007	Fall 2008	Fall 2007
1[a]	4.8%	16.7%	0.0%	33.3%	21	36
2[b]	25.0%	22.2%	40.0%	55.6%	20	37
3	22.7%	41.7%	40.0%	68.8%	22	37
4	4.8%	55.6%	100.0%	88.9%	21	34
5	15.8%	44.4%	0.0%	80.0%	19	35
6	47.8%	69.4%	36.4%	56.0%	23	36
7	15.0%	47.2%	100.0%	57.1%	20	33
8	60.0%	80.6%	75.0%	88.9%	20	34
All	24.7%	46.1%	51.2%	70.8%	166	282
	$p = 5.7 \times 10^{-6}$		$p = 0.024$			

Fonte: Sterman, 2010, p. 329

Fischer et al. (2015) abordaram o problema a partir de uma perspectiva cognitiva, partindo do pressuposto que o "processamento holístico ou analítico são mecanismos cognitivos importantes subjacentes à habilidade de inferir o comportamento de sistemas dinâmicos" (FISCHER et al., 2015, p.2). Em uma tarefa que é estruturalmente equivalente à loja de departamentos, eles modificaram a forma de apresentação de modo a estimular os participantes a concentrarem-se nos elementos de alto nível (global) ou de baixo-nível (local). Os autores concluem que:

> As respostas dos estudantes dão suporte a nossa hipótese de que o processamento global aumenta a habilidade de inferir o comportamento global do sistema. A influência benéfica da apresentação global é ainda maior quando os dados são apresentados de forma numérica do que quando são apresentados em forma de gráfico (FISCHER et al., 2015, p. 2, tradução nossa).

Em contraposição a Fischer et al. (2015), Baghaei Lakeh, e Ghaffarzadegan (2015) sustentam que se o uso do pensamento analítico for estimulado, haverá uma melhora no desempenho na resolução da tarefa de estoque-fluxo. Eles constataram que, quando os sujeitos do experimento têm que responder uma questão analítica imediatamente antes da tarefa da loja de departamentos, isto melhora marginalmente as chances de responder corretamente as questões relativas ao problema de estoque-fluxo.

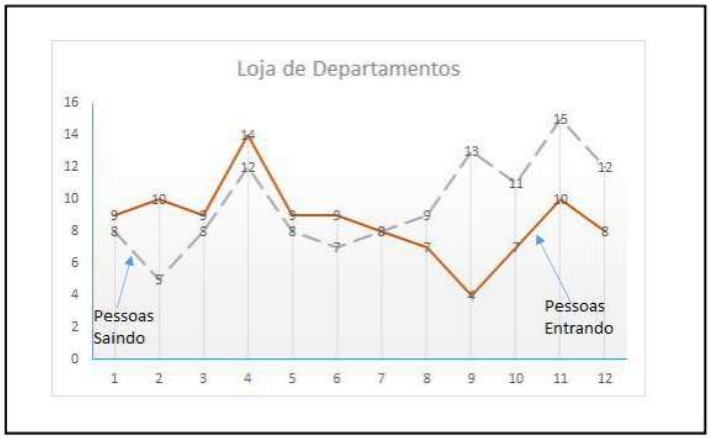
2.8 UMA ABORDAGEM ALTERNATIVA

Ao retomar a questão da acumulação, Sterman (2010) faz referência a experimentos realizados por ele anteriormente e a experimentos realizados por diversos pesquisadores da área (SWEENEY; STERMAN, 2000; CRONIN; GONZALEZ, 2007; STERMAN; SWEENEY, 2002; CRONIN; GONZALEZ; STERMAN, 2009; PALA; VENNIX, 2005): "A despeito, da extrema simplicidade da tarefa da "loja de departamentos", Cronin, Gonzalez e Sterman. (2009) mostraram que o desempenho de estudantes graduandos do MIT foi pobre" (STERMAN, 2010, p.318, tradução nossa). A tarefa da loja de departamentos é apresentada na Figura 18 e envolve apenas quatro questões.

Figura 18 – Questionário Loja de departamentos

NOME _____

O gráfico abaixo mostra o número de pessoas entrando e saindo de uma loja de departamentos, durante o período de 12 minutos.



Por favor, responda as seguintes perguntas, considerando o período apresentado. Assinale o marcador à direita se a resposta não puder ser determinada a partir da informação fornecida.

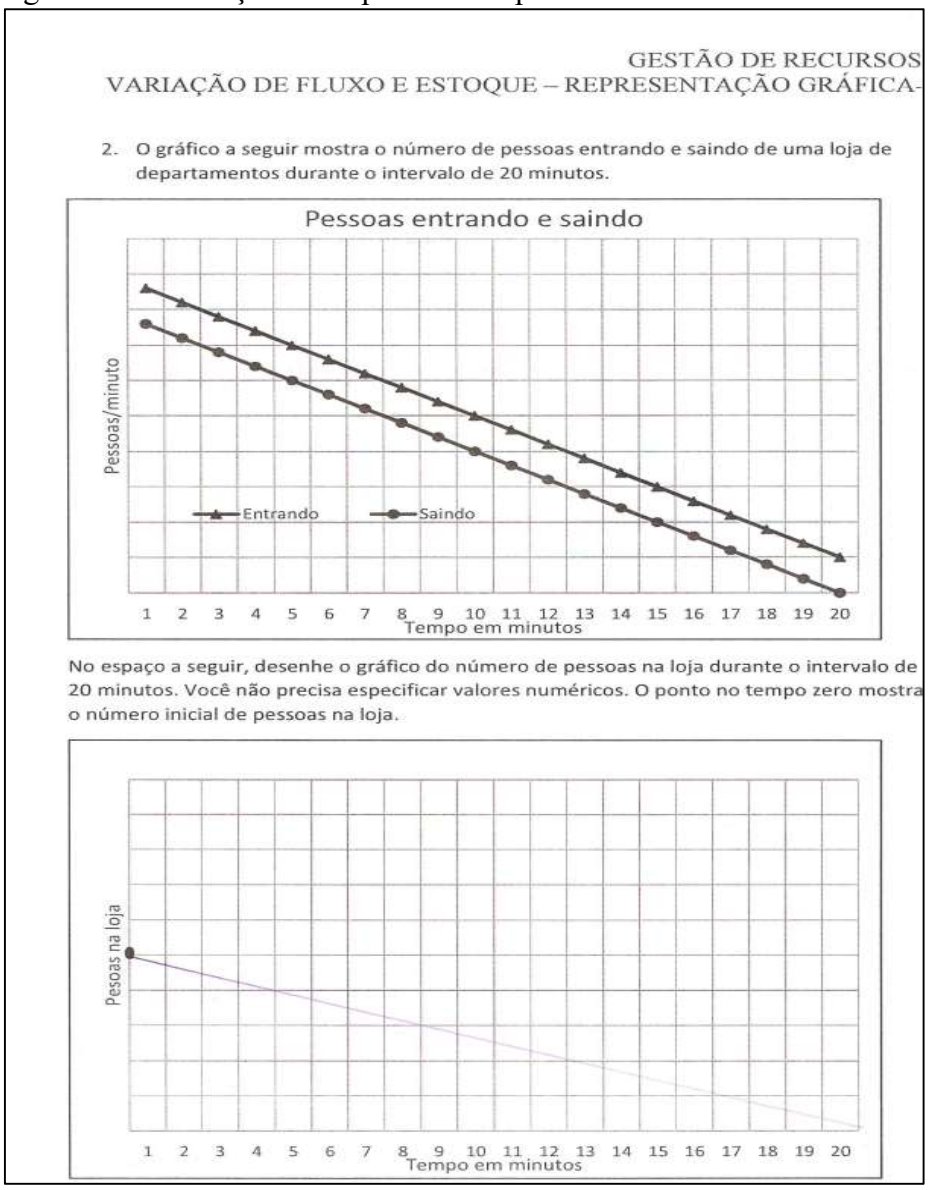
1. Durante qual minuto mais pessoas entraram na loja?
   Minuto _____ □ Não pode ser determinado
2. Durante qual minuto mais pessoas saíram da loja?
   Minuto _____ □ Não pode ser determinado
3. Durante qual minuto havia mais gente na loja?
   Minuto _____ □ Não pode ser determinado
4. Durante qual minuto havia menos gente na loja?
   Minuto _____ □ Não pode ser determinado

Fonte: Cronin, Gonzalez e Sterman (2009) (tradução nossa).

A aparente simplicidade da operação aritmética envolvida, contrasta com o fraco desempenho dos participantes e surpreende ao eliciar respostas equivocadas que se orientam predominantemente numa determinada direção que Cronin, Gonzalez e Sterman (2009) denominam a heurística correlacional.

A Figura 3 ilustra uma resposta típica correspondente à heurística correlacional. Como pode ser observado na Figura 3 o respondente indica que o número de pessoas na loja diminui acompanhando o formato do gráfico dos fluxos, mesmo verificando que o número de pessoas que entra é sempre maior que o número que sai, o que necessariamente implica num aumento de pessoas na loja (estoque) apesar da diminuição dos fluxos de entrada e de saída, ilustrando o fenômeno de heurística correlacional verificado por diversos pesquisadores.

Figura 19 – Ilustração de resposta correspondente a heurística correlacional



Fonte: Autor

Outras respostas representativas dessa heurística, fazem corresponder, no questionário da loja de departamentos o máximo de pessoas dentro da loja ao minuto em que entram mais pessoas (minuto 4 no questionário), ou ao minuto em que a diferença entre o número de pessoas que entram e o número de pessoas que saem é máxima (minuto 9) da Figura X.

Na tentativa de compreender as causas da falha de estoque-fluxo e "os mecanismos que inibem ou disparam o uso da heurística da correlação" (CRONIN; GONZALEZ; STERMAN, 2009, p. 129), o presente estudo propõe uma análise detalhada da aparente simplicidade do problema que envolve o domínio de um conjunto de operações coordenadas:

a) O saldo seguinte do estoque depende da entrada;
b) O saldo seguinte do estoque depende da saída;
c) O saldo depende, portanto, da diferença entre o fluxo de entrada e de saída;
d) A realização do cálculo envolve a partição do tempo de forma a permitir a "conversão" de unidades de fluxo (pessoas/intervalo de tempo) para unidades de estoque (pessoas em um determinado instante). Somente desta forma a análise dimensional da equação apresentada por Sterman (2010) fica correta;
e) O saldo seguinte depende do saldo anterior;
f) Envolve uma iteração no domínio do tempo, isto é, sucessão de operações onde o resultado de uma operação serve como operando da próxima operação (saldo final anterior igual ao saldo inicial da nova operação);
g) A solução do problema, portanto implica em cálculos:
   - Das diferenças entre entrada e saída (que podem ser discretas ou contínuas)
   - Da iteração aditiva dessas diferenças
   - Da integração da função diferença no domínio do tempo
h) Isto é, a coordenação **simultânea** da iteração das somas das diferenças, (entradas menos saídas), com o saldo anterior e com o intervalo de tempo determinado (no domínio do tempo).

A simplicidade da síntese: "Como em todo estoque, o número de pessoas na loja aumenta quando o fluxo de entrada é maior que o fluxo de saída" (STERMAN, 2010, p. 318), remete aos experimentos de conservação do volume de Piaget e Seminska (1971), quando as crianças, expostas ao transvasamento de um líquido, concluem pela igualdade dos volumes: "Sim, não se fez mais nada que despejar" (PIAGET; SEMINSKA, 1971, p.41).

Piaget e Seminska (1971, p.47) argumentam em contrapartida que:

> Em termos de operações psicológicas é claro que a igualdade é sugerida pelo ato de transvasar o mesmo líquido, mas vimos ainda há pouco que este transvasamento não basta para explicar a conservação, pois que uma alteração de forma é julgada pelos pequenos como acarretadora de uma mudança de quantidade.

Ao hesitar, a criança lança mão da coordenação das relações em jogo para justificar a conservação e **depois generaliza para todos os transvasamentos.** Não é, portanto, a descoberta da conservação que acarreta a possibilidade de compor relações, **mas antes o inverso** (grifo nosso).

A tese dos autores consiste em afirmar que num dado momento o sujeito compreende que as diferenças se compensam, nascendo assim a proporção por combinação da relação de igualdade com a relação da diferença.

Piaget e Seminska (1971) definem que existe uma partição aritmética desde que os elementos de um todo possam ser igualados entre si embora sendo distintos. Desse ponto de vista, estabelecer a igualdade das diferenças consiste em concebê-las segundo o modo da partição aritmética e não mais da adição lógica, permitindo então conceber que uma metade é igual à outra metade e, ainda, que é igual à diferença entre o todo e a outra metade.

Os problemas de coordenação de relações são frequentes ao longo do processo de aprendizagem, estão presentes, na fase das operações concretas, na conservação de substância, quantidade, volume, e na correspondência um a um na conservação do número. Em todos eles a "heurística" utilizada por aqueles que ainda não "desenvolveram a conservação" correspondente é semelhante àquela que Cronin, Gonzalez e Sterman denominam a "heurística da correlação" e que, no caso das crianças, poderia ser denominada a "heurística da percepção da dimensão dominante". As coordenações implicadas envolvem sempre a partição aritmética e a "multiplicação lógica" de duas dimensões geométricas (altura e largura, comprimento da fileira de fichas e distância entre elas).

Problemas semelhantes aplicam-se a fases posteriores do desenvolvimento na compreensão, por exemplo, do conceito da densidade que implica na coordenação das dimensões de peso e volume (que pesa mais, um quilo de algodão ou um quilo de chumbo?), na compreensão da velocidade, coordenação da variação do espaço em relação à variação do tempo e da aceleração, variação da velocidade em relação à variação do tempo.

Pode-se supor que é a dificuldade em coordenar **simultaneamente** diferenças entre fluxos (de entrada e saída), saldos e intervalos de tempo, que leva à utilização de esquemas

cognitivos que privilegiam uma das dimensões (na inabilidade de coordenar todas) e, ainda, que essa dificuldade provoca um efeito semelhante ao da "heurística da dimensão dominante" (altura, largura, comprimento da fileira de fichas, nas crianças) que Cronin, Gonzalez e Sterman (2009) denominam "heurística correlacional" na falha de estoque-fluxo. No experimento por eles reportado corresponde a assumir que o comportamento do estoque é semelhante ao comportamento do fluxo dominante, ou à maior diferença entre os fluxos.

Para Piaget o princípio da aprendizagem consiste no exercício operatório do indivíduo, isto é, a experimentação ativa e reflexiva que envolve ciclos de assimilação do mundo exterior e da acomodação das estruturas (físicas e conceituais) de apreensão. É por meio desse exercício operatório e da maturação das estruturas cognitivas que se desenvolvem e estabelecem as coordenações implícitas nas diferentes fases que ele caracteriza.

Se utilizarmos a analogia entre o problema dos transvasamentos e o problema da acumulação podemos questionar: são as coordenações que derivam da conservação, ou se de acordo com Piaget e Seminska (1971), são estas que levam a concluir pela conservação?

O exercício operatório envolvendo a representação gráfica de iterações no domínio do tempo não é frequente no cotidiano, basta pensar na dificuldade de um grande número de estudantes quando são apresentados pela primeira vez ao símbolo da somatória ($\sum$), ou melhor ainda, lembrar das dificuldades próprias para "incorporar" o "algoritmo" ou esquema de cálculo e seu significado. Ao longo dos anos lecionando a disciplina Jogos de Negócios em um curso de pós-graduação numa universidade de renome em São Paulo, o autor tem também verificado com frequência a dificuldade de alguns grupos de alunos para elaborarem o fluxo de caixa previsto para o próximo período, quando é necessário calcular a partir da disponibilidade inicial levando em conta saldo, aplicações e empréstimos, adicionar entradas previstas, subtrair as saídas correspondentes para prever o saldo final e definir o montante a ser aplicado no início do mês para evitar deixar dinheiro parado ou entrar em um crédito rotativo, que normalmente é mais caro do que um empréstimo planejado.

A proposta deste trabalho é aprofundar a compreensão do problema e propor um conjunto de exercícios operatórios que, envolvendo as diversas operações implicadas, favoreçam as coordenações necessárias para "desenvolver nos estudantes a compreensão intuitiva da acumulação" (STERMAN, 2010, p. 317) e, com isto, testar a validade da teoria utilizada para interpretar o fenômeno.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo, são apresentados os pressupostos, o detalhamento do problema e a metodologia utilizados no presente trabalho de pesquisa.

3.1 PRESSUPOSTOS

Embora muitos estudos tenham replicado a falha de estoque-fluxo, em diversas condições, poucos forneceram insights conclusivos sobre intervenções efetivas (STERMAN, 2010) para melhorar o desempenho dos sujeitos (PHUAH, 2010; FISCHER et al., 2015; BAGHAEI LAKEH; GHAFFARZADEGAN, 2015) e, nenhum deles apresentou um modelo derivado de uma teoria do conhecimento que forneça uma base de análise detalhada para compreender o fenômeno. Apesar de estudos recentes procurarem fundamentar suas hipóteses em teorias cognitivas, estes o fazem de maneira genérica e os seus resultados apontam em direções aparentemente opostas. Enquanto Fischer et al. (2015, p. 2) concluem que o processamento "global aumenta a habilidade de inferir o comportamento global do sistema", contrariamente, Baghaei Lakeh e Ghaffarzadegan (2015) sustentam que, se o uso do pensamento analítico for estimulado, haverá uma melhora no desempenho na resolução da tarefa de estoque-fluxo.

A partir da revisão dos estudos anteriores realizados no capítulo anterior, o presente estudo parte dos seguintes pressupostos:

a) O número de itens individuais, que de acordo com Simon (1996) é limitado a sete, envolvido nas operações necessárias à solução do problema supera a capacidade de armazenamento de memória de curto prazo (*short term memory*);
b) Por meio do exercício operatório, esses itens individuais, podem ser recodificados e agrupados em esquemas, representações ou modelos (*chunks*) que passam a ser tratados como itens unitários reduzindo o número de itens antes de ser armazenados na memória de curto prazo.
c) A solução "intuitiva" do problema de estoque-fluxo implica uma **coordenação de três operações** que pode ser **desenvolvida** por uma **prática operatória**, que comumente está ausente quando se enfrenta essa questão, cuja solução, usualmente, é realizada por um sistema de realimentação negativa de primeira ordem (SWEENEY; STERMAN, 2002).

d) As operações implicadas no pressuposto anterior são:

- **Representação gráfica da função "diferença"** dos fluxos de entrada e saída
- **Representação gráfica da iteração** (total corrente): Saldo = Saldo anterior + diferença de fluxos.
- **Representação gráfica d**a **Integração** da função diferença de fluxos.

O pressuposto deste estudo é que a compreensão e solução "intuitiva" do problema de estoque fluxo se dá quando ocorre a articulação, por meio do exercício operatório, dessas três operações em uma nova síntese e que, de maneira análoga aos experimentos relativos ao desenvolvimento do pensamento lógico realizados por Piaget e Inhelder (2013), na ausência de uma estrutura capaz de representar um todo organizado que dê conta do problema, os indivíduos passam a operar exclusivamente sobre os dados concretos que se encontram visíveis, o que é uma possível explicação para a "heurística" da correlação.

3.2 DETALHAMENTO DO PROBLEMA

Na tentativa de compreender a falha de estoque-fluxo e "os mecanismos que inibem ou disparam o uso da heurística da correlação" (CRONIN; GONZALEZ; STERMAN, 2009, p. 129) o presente estudo propõe uma análise detalhada da aparente simplicidade do problema que envolve o domínio de um conjunto de operações coordenadas quando se trata de determinar a evolução do saldo de um estoque a partir do comportamento dos seus fluxos:

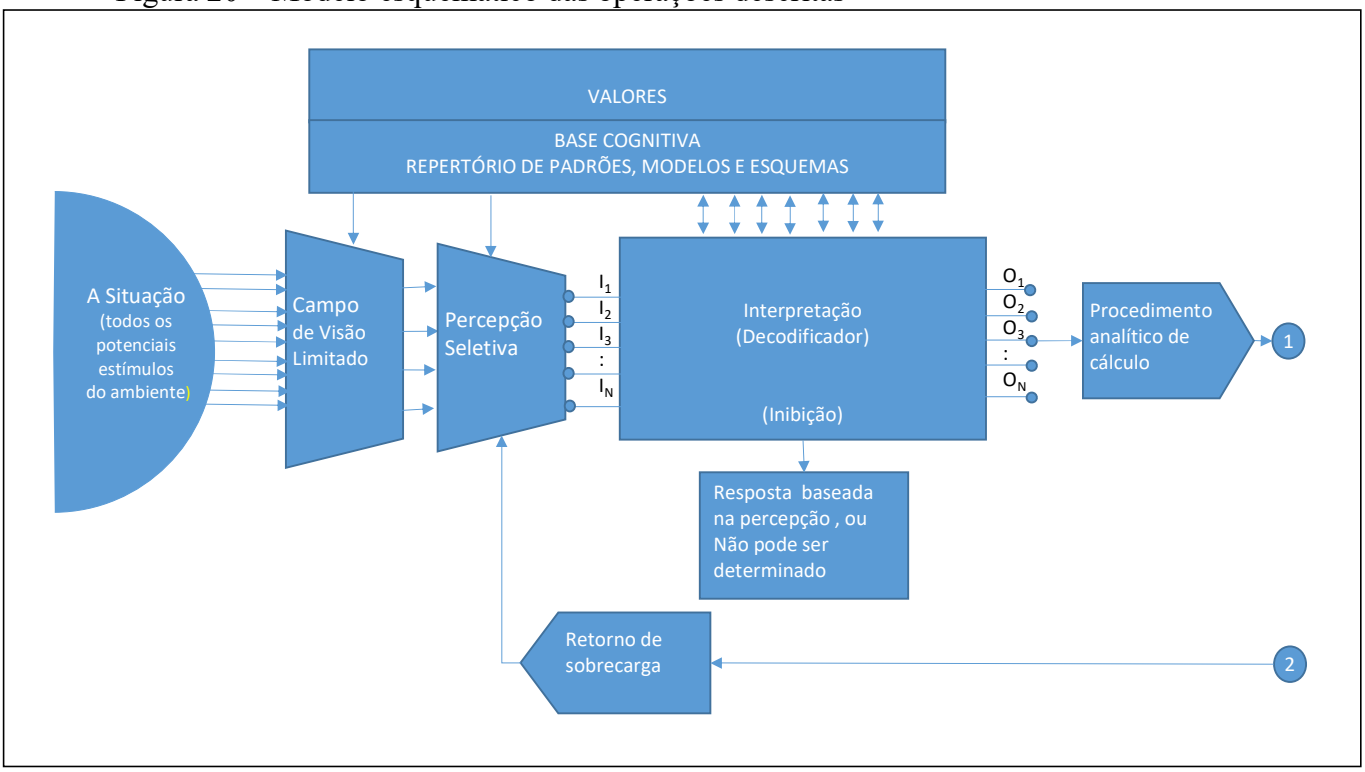
a) O saldo seguinte depende da entrada;
b) O saldo seguinte depende da saída;
c) O saldo depende, portanto, da diferença entre o fluxo de entrada e de saída;
d) A realização do cálculo envolve a partição do tempo de forma a permitir a "conversão" de unidades de fluxo (pessoas/intervalo de tempo) para unidades de estoque (pessoas em um determinado instante);
e) Somente desta forma, a análise dimensional da equação apresentada por Sterman (2010) fica correta;
f) O saldo seguinte depende do saldo anterior;
g) Envolve uma iteração no domínio do tempo, isto é, sucessão de operações onde o resultado de uma operação serve como operando da próxima operação (saldo final anterior igual ao saldo inicial da nova operação);
h) A solução do problema, portanto implica na coordenação das:

- Diferenças entre entrada e saída (que podem ser discretas ou contínuas)
- Saldo anterior
- Intervalo de tempo

i) Isto é, a coordenação **simultânea** da iteração das somas das diferenças, e da integração no domínio do tempo. Têm de ser levadas em conta as entradas e as saídas, o saldo anterior, e o intervalo de tempo determinado.

Um modelo esquemático das operações descritas para a solução do problema está representado nas Figuras 20 e 21 que, dependendo do intervalo de tempo considerado, pode ser aplicado tanto para variáveis discretas como variáveis "continuas".

Figura 20 – Modelo esquemático das operações descritas

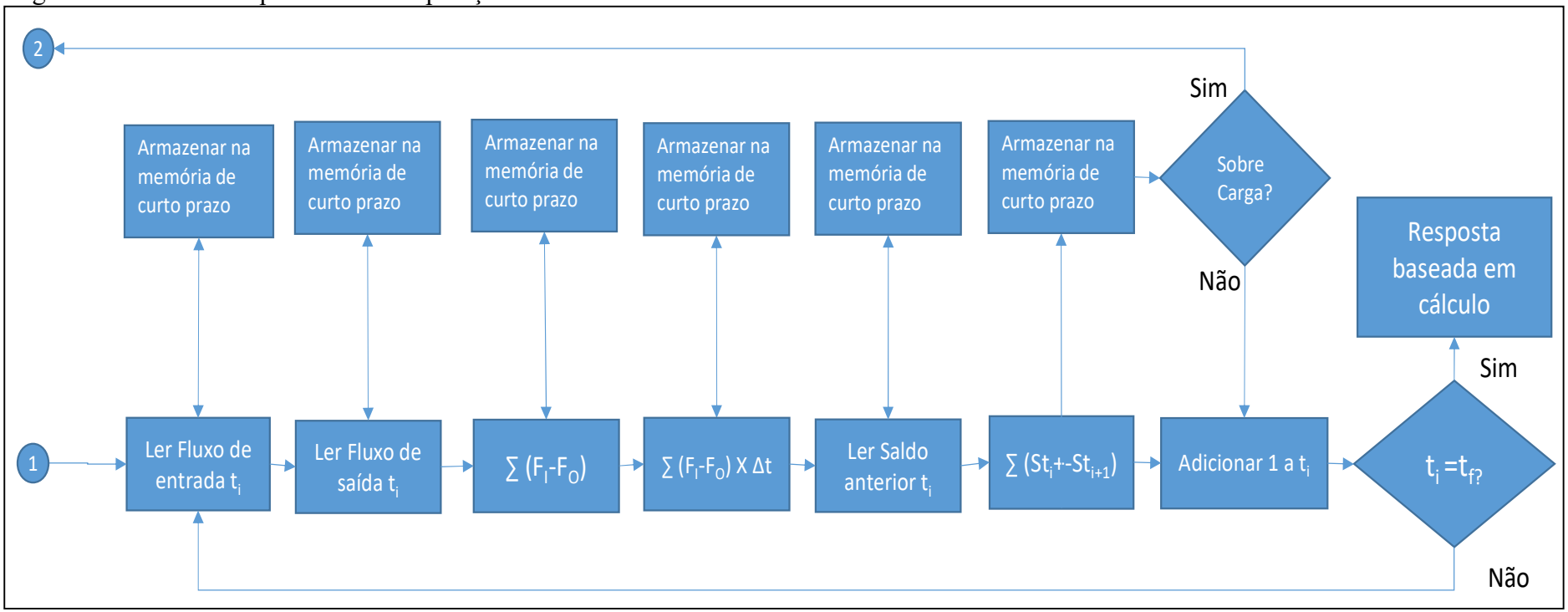


Fonte: Autor

O modelo é apresentado, neste ponto, com o objetivo de mostrar, passo a passo, as operações envolvidas na solução do problema, se este tivesse que ser resolvido analiticamente e sua representação mostra a estrutura de uma solução possível para o problema.

Como pode ser visto Figura 21, a solução analítica para o problema requer, mesmo para um pequeno número de intervalos de tempo, um volume significativo de informações que pode em poucos ciclos superar a capacidade de armazenamento da memória de curto prazo que de acordo com Simon (1996) é limitado a sete itens individuais.

Figura 21 – Modelo esquemático das operações descritas



Fonte: Autor

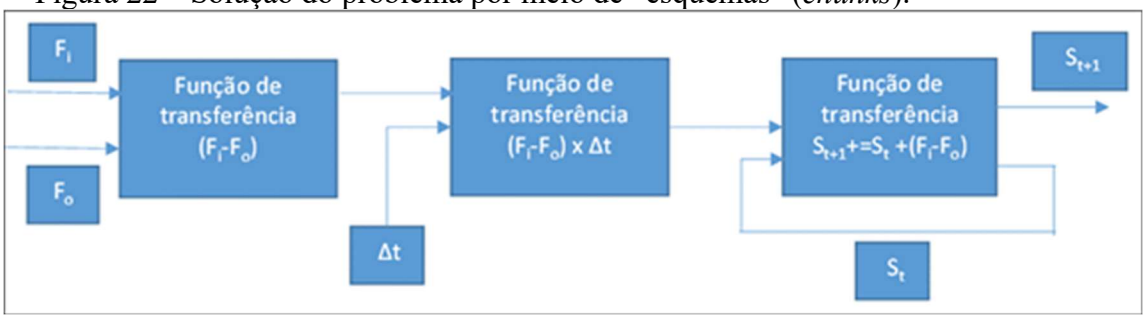
Sterman (2002) considera que um dos conceitos mais difíceis de ser aceitos pelas pessoas é que decisões são tomadas com base em modelos e que todos os modelos estão errados e, isto, é central para poder pensar de forma sistêmica. Apesar da inevitável limitação dos modelos, Box e Draper (1987, p.424) afirmam que embora "essencialmente todos os modelos estejam errados, alguns são úteis", pois, entre outros aspectos, eles contribuem para a compreensão do fenômeno em estudo. A este argumento pode ser acrescentado que a explicitação de um modelo possibilita a comunicação e, consequentemente, a crítica, isto é, viabiliza um processo de aperfeiçoamento, ou por outro lado sua refutação em favor de outro mais abrangente e mais preciso.

Um dos pressupostos do presente estudo é que as operações elementares envolvidas na solução analítica do problema da acumulação podem articular-se em novos "esquemas" por meio do exercício operatório.

Esquema, neste estudo, é entendido como um conjunto unitário de operações reversíveis que fazem parte de um todo estruturado. Isto é conhecimento abstrato de uma pessoa adquirido a partir de sua experiência. Definidos dessa forma, os esquemas auxiliam na organização do conhecimento a respeito de estímulos específicos e direcionam a recuperação de informações e o processamento de novos dados. Na ausência de um esquema que permita a representação global de um todo, os indivíduos respondem com base nos dados concretos dominantes que se encontram aparentes.

A partir desse pressuposto, uma outra forma de solução é a que utiliza esquemas (*"chunks"*) que permitem sintetizar e tratar como itens individuais: a) a função diferença; b) a transformação (multiplicação, integração) do fluxo em volume e c) a iteração (soma) dos saldos, e, a partir disso, concluir rapidamente (quando as relações entre os fluxos são suficientemente simples) que, enquanto o fluxo de entrada for maior (menor) que o de saída, o estoque aumenta (diminui).

Figura 22 – Solução do problema por meio de "esquemas" (*chunks*).



Fonte: Autor

A partir da análise detalhada das operações envolvidas na solução do problema a questão de pesquisa é proposta em consonância com os pressupostos adotados que implicam no desenvolvimento dos esquemas necessários à solução do problema. Depois de caracterizar os pressupostos do presente estudo e detalhar as operações envolvidas no problema, o objetivo e a questão de pesquisa são retomados de forma sumária.

O presente projeto tem como objetivo geral aprofundar a compreensão sobre o fraco desempenho observado dos estudantes no problema do estoque-fluxo e testar uma abordagem baseada na aprendizagem experiencial e sua fundamentação construtivista para melhorar o desempenho dos estudantes diante desse problema, o que conduz à questão central da pesquisa:

A aprendizagem experiencial, envolvendo os conceitos de iteração, função diferença e integração e sua representação gráfica, melhora o desempenho dos estudantes no problema da acumulação?

Está implícita, nesta questão de pesquisa, a premissa de que para implementar corretamente a aprendizagem experiencial, por meio de um PBL, este deve necessariamente ser estruturado de forma que permita a articulação dos esquemas que objetiva desenvolver. Isto é, o problema proposto deve fazer emergir os conceitos e princípios vinculados à área de conteúdo que se pretende explorar, e isto implica que o primeiro passo deve ser a identificação dos conceitos e princípios que os alunos devem aprender.

Desta forma, como o delineamento experimental que será aplicado considera um grupo controle, serão estruturados dois processos de aprendizagem baseada em problemas distintos: 1) tratamento: o problema um "PBL1", que envolve os conceitos de estoque e fluxo foi aplicado ao grupo em estudo; 2) tratamento placebo: o problema dois "PBL2", que **não** envolve esses conceitos foi aplicado ao grupo controle.

3.3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Com o objetivo de obter uma maior compreensão do problema, isto é, das dificuldades enfrentadas pelos alunos e do contexto em que a pesquisa seria desenvolvida, o trabalho de pesquisa foi estruturado em duas etapas. Inicialmente, foi desenvolvido um estudo exploratório destinado ao aprofundamento da compreensão do problema pelo pesquisador e dos mecanismos que são utilizados pelos alunos para responder às questões propostas, bem como, das operações

e das áreas em que os alunos demonstram dificuldade. Esta etapa exploratória inicial forneceu subsídios para o desenvolvimento dos exercícios que deveriam ser incluídos no problema a ser proposto na segunda etapa e das questões que os alunos do grupo sujeito ao tratamento deveriam responder no processo de aprendizagem baseada em problemas, PBL1. Esta etapa correspondeu à aplicação de um questionário destinado a verificar como os alunos lidam com as operações (iterações, função diferença e integrações) e representações (numérica e gráfica) envolvidas no problema de estoque-fluxo.

A segunda etapa compreendeu um quase-experimento destinado a testar a hipótese do presente estudo. Inicialmente, os alunos foram distribuídos na sala por ordem alfabética, e, para minimizar o risco de cópia, foram distribuídos de forma alternada dois protocolos de teste distintos, um, utilizado por Cronin, Gonzalez e Sterman (2009) e outro, utilizado por Fischer et al (2015). O propósito destes protocolos foi verificar o desempenho dos alunos no problema da acumulação, antes e depois do tratamento.

Em seguida, os alunos foram divididos em equipes de três a cinco participantes. Às equipes foi apresentado um problema relacionado com a gestão de água na cidade de São Paulo. O contexto do problema era o mesmo para todos os alunos, porém, para algumas equipes foi solicitada a solução de um problema e, para outras equipes, um problema diferente, que neste estudo serão denominados PBL1 e PBL2. O sorteio dos problemas para as equipes foi realizado de forma aleatória, utilizando para tanto o gerador de números aleatórios do Microsoft Excel®. Um dos tratamentos, PBL1, aplicado ao grupo experimental, solicitava o desenvolvimento de métricas quantitativas relacionadas a um problema de estoque-fluxo, o segundo tratamento, aplicado ao grupo controle, PBL2, solicitava o desenvolvimento de uma estratégia genérica qualitativa (tratamento placebo).

Após a finalização e entrega dos respectivos PBL's foram aplicados novamente os dois protocolos de teste, tomando o cuidado para que cada aluno respondesse o protocolo que não havia respondido no início do quase experimento. A hipótese de trabalho é que o grupo que desenvolveu as métricas quantitativas (PBL1) apresentaria desempenho superior ao grupo que desenvolveu o trabalho qualitativo (PBL2), na aplicação final dos testes que avaliaram a competência em lidar com o problema da acumulação.

A seguir, são apresentados os procedimentos exploratórios que permitiram consolidar os instrumentos da pesquisa e aprofundar a compreensão sobre o problema e, em seguida, são apresentados o delineamento experimental da pesquisa, os protocolos utilizados, a caracterização da amostra que participou deste quase-experimento e o tratamento aplicado.

3.3.1 Procedimentos exploratórios

Com o objetivo de identificar as possíveis dificuldades dos estudantes na compreensão da relação estoque-fluxo, e para aprofundar a compreensão do pesquisador sobre os mecanismos que são utilizados pelos alunos ao enfrentar esse problema, foram desenvolvidos questionários para avaliar o desempenho dos estudantes nas operações básicas necessárias para a solução do problema da acumulação

Foram elaborados testes exploratórios destinados a verificar o desempenho dos estudantes diante de questões envolvendo iterações e integrações tanto no domínio do espaço, quanto no domínio do tempo, para investigar possíveis variações de desempenho nas operações quando aplicadas a cada um desses domínios.

Foi desenvolvido um questionário com 8 questões destinadas a verificar o desempenho dos alunos nas operações (iterações, integrações) e representações (numérica e gráfica) envolvidas no problema da acumulação com tempo médio de aplicação de 90 minutos, que foi posteriormente depurado e reduzido a três testes com duração média de 30 minutos.

Os testes desta fase exploratória foram aplicados a uma turma de graduandos em administração composta de 12 alunos, em duas aulas com intervalo de uma semana, de cuja amostra pode-se extrair 09 questionários completos válidos.

Tanto para o domínio do espaço, como para o domínio do tempo, os questionários foram elaborados com quatro questões cada, totalizando 8 questões. A solução de cada problema requeria uma representação numérica e uma representação gráfica.

As questões 1 e 5 dos questionários (iteração) envolveram, a adição simples de distâncias (no domínio do espaço) e de tempos (no domínio do tempo) em uma viagem que passava por diversas cidades. As questões 2 e 6 (integração) requeriam do estudante que ele transformasse o aumento do comprimento de um terreno (com largura constante) na área equivalente (no domínio do espaço) e o cálculo do espaço total percorrido em 5 intervalos de tempo, cada um com velocidade constante (no domínio do tempo).

As questões 3 e 7 e as questões 4 e 8 repetiam respectivamente, o procedimento das questões 1 e 5 e das questões 2 e 6, para cada um dos domínios, porém envolvendo previamente o cálculo de uma diferença (entre avanços e recuos, ganhos e perdas) para reproduzir as variáveis envolvidas no problema de estoque-fluxo, correspondentes aos fluxos de entrada e saída, e como no caso das primeiras questões também foi solicitado que apresentassem as representações numéricas e gráficas da solução Na Figura 23 é apresentado um sumário dos testes aplicados.

Para manter a simplicidade do questionário, foram utilizadas apenas funções elementares (constante, degrau e linear) de forma a facilitar a representação gráfica e eliminar a complexidade envolvida no conceito e representação de outros tipos de funções. Os questionários completos, com todas as questões aplicadas nessa fase exploratória constam no Apêndice A.

Figura 23 – Sumário de testes aplicados na fase exploratória

1. Iteração no domínio do espaço Iteração numérica Iteração gráfica	Uma variável (aditiva)
2. Integração no domínio do espaço Integração numérica Integração gráfica	Uma variável (multiplicativa) Conversão de unidades
3. Iteração de diferenças no domínio do espaço Integração numérica Integração gráfica	Duas variáveis (aditivas)
4. Integração de diferenças no domínio do espaço Integração numérica Integração gráfica	Duas variáveis (multiplicativa) Conversão de unidades
5. Iteração no domínio do tempo Iteração numérica Iteração gráfica	Uma variável (aditiva)
6. Integração no domínio do tempo Integração numérica Integração gráfica	Uma variável (multiplicativa) Conversão de unidades
7. Iteração de diferenças no domínio do tempo Integração numérica Integração gráfica	Duas variáveis (aditivas)
8. Integração de diferenças no domínio do tempo Integração numérica Integração gráfica	Duas variáveis (multiplicativa) Conversão de unidades

Fonte: Autor

A aplicação desses testes, foi dividida em dois grupos, de forma que um deles tivesse que resolver primeiro as questões relativas ao domínio do tempo e o outro as questões relativas ao domínio do espaço para evitar que, caso se verificasse a aprendizagem nas questões iniciais, fosse possível, ainda, comparar os resultados nos dois domínios de forma equivalente.

Em função da análise qualitativa dos resultados e dos comentários dos alunos foi possível constatar que:

a) Houve um efeito de aprendizagem: todas as notas, menos uma, foram melhores no segundo teste do que no primeiro;
b) As iterações simples não auxiliam na discriminação pois foram resolvidas por todos os alunos tanto na parte gráfica quanto na numérica em ambos os domínios;
c) Os resultados nas representações numéricas foram melhores quando comparadas com as representações gráficas;

d) Não houve diferença de desempenho quando se comparam os domínios do tempo e do espaço, a não ser na integração de diferenças no domínio do espaço onde a formulação do problema comprometeu o resultado do experimento.
e) Neste último caso o desempenho foi melhor no domínio do tempo pelo problema do protocolo na formulação desse problema no domínio do espaço.

A extensa duração do questionário completo (tempo médio de 90 minutos) em conjunto com a ausência de poder discriminatório de alguns dos testes evidenciou a necessidade da simplificação dos questionários para garantir a viabilidade do trabalho experimental. A simplificação efetuada resultou em um conjunto de três testes que envolviam a integração de diferenças no domínio do tempo, um mediante o cálculo analítico, o segundo sobre a representação gráfica das funções envolvidas e da função diferença e, o terceiro, envolvendo a representação gráfica da integração. Foi feito um teste com esse novo questionário com a aplicação a um grupo de 60 alunos de um curso de especialização em Administração. Verificou-se que o tempo médio de resposta baixou para 30 minutos.

Este novo questionário é composto por um problema e três questões. Um menino brinca de andar no sentido contrário de uma esteira rolante num aeroporto. São fornecidas as velocidades da esteira (constante) e do menino que alterna intervalos com velocidades constantes e intervalos de descanso (parado), o que representado graficamente dá origem a uma função degrau. Na primeira questão solicita-se que o estudante calcule analiticamente (por meio de cálculos iterativos) a posição do menino o que envolve a iteração de avanços e recuos (que ocorrem quando ele para e a esteira continua a se movimentar no sentido contrário), na segunda questão é solicitada a representação gráfica das velocidades do menino em relação à esteira e da esteira em relação ao solo e, também, da velocidade resultante do menino em relação ao solo, isto é, da função diferença. Na terceira questão é solicitado ao estudante a representação gráfica do espaço percorrido (integração) pelo menino em relação ao solo. A íntegra das questões deste questionário consta no Apêndice B.

O questionário foi então aplicado a uma amostra de 161 alunos de quatro turmas de uma universidade particular de São Paulo, sendo uma de MBA, uma de pós-graduação (especialização) e duas turmas do quarto semestre de graduação, todas na área de Administração. Do total da amostra 75 participantes eram do gênero feminino (47%) e 86 do gênero masculino (53%). Os participantes das turmas de graduação tinham idades variando entre 19 e 23 anos, enquanto que as idades dos participantes do curso de especialização e do

curso de MBA variavam respectivamente de 27 a 35 anos e 29 a 39 anos conforme pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição da amostra 161 respondentes

TURMA	IDADE	GÊNERO (frequência)			GÊNERO (%)	
		FEM	MAS	Total	FEM	MAS
Graduação 4° semestre T1	19 -23	21	29	50	42%	58%
Graduação 4° semestre T2	19-23	19	16	35	54%	46%
Especialização Pós-adm.	27-35	22	16	38	58%	42%
MBA	29-39	13	25	38	34%	66%
	Total	75	86	161	47%	53%

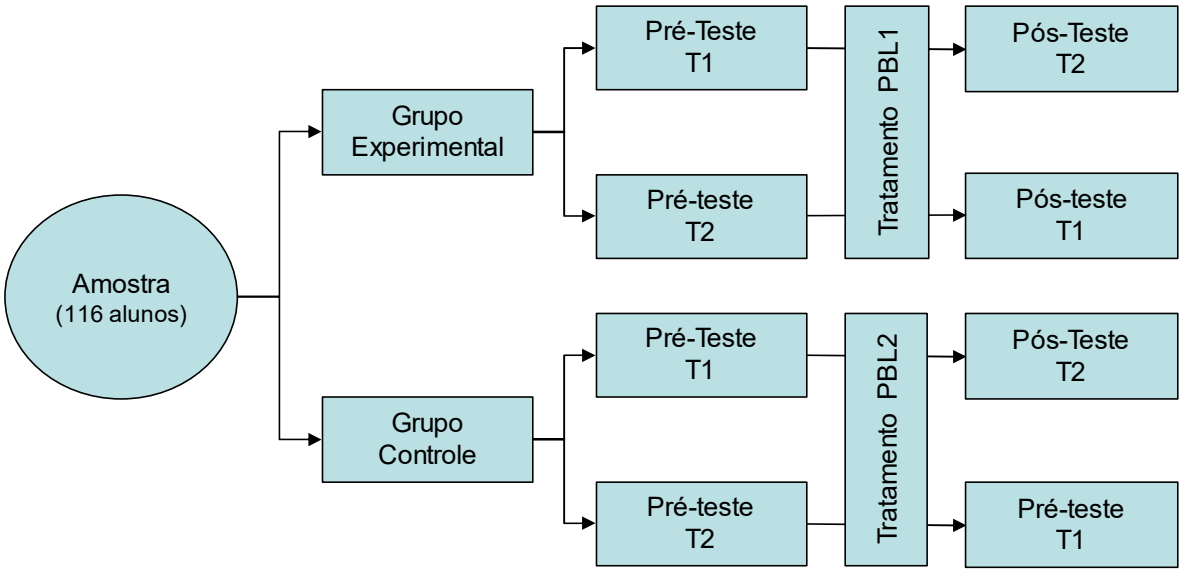
Fonte: Autor

Ao final desta etapa exploratória, foram definidos os elementos que deveriam fazer parte do PBL1 de forma a propiciar ao grupo experimental o exercício operatório nas coordenações necessárias para melhorar o desempenho no problema do estoque-fluxo.

3.3.2 Delineamento experimental

Para dar início à segunda etapa, foi definido o procedimento para responder à questão de pesquisa. Com essa finalidade utilizou-se o delineamento experimental representado na Figura 24.

Figura 24 – Delineamento experimental do presente estudo



Grupo Experimental – Tratamento Problem Based Learning PBL1, envolve os conceitos de estoque-fluxo
Grupo Controle – Tratamento Problem Based Learning PBL2, não envolve os conceitos de estoque-fluxo

Fonte: Autor.

O delineamento considera um pré-teste e um pós-teste e dois grupos: a) grupo experimental, sujeito a um tratamento e; b) grupo controle, sujeito a um tratamento placebo. Os protocolos de teste T1 e T2 correspondem a testes já utilizados por pesquisadores internacionais e serão apresentados, logo a seguir. Tanto o grupo experimental, quanto o grupo controle foram divididos em dois subgrupos de forma que o pré-teste de um subgrupo correspondesse ao pós-teste do outro, de forma a evitar um possível viés atribuído à diferença de dificuldade entre os dois testes. Isto é, metade do grupo experimental e metade do grupo controle tiveram como pré-teste o protocolo T1 enquanto que a outra metade desses grupos tiveram como pré-teste o protocolo T2. Na aplicação do pós-teste foi tomado o cuidado para garantir que cada um dos 4 subgrupos formados respondessem o protocolo de testes diferente do que responderam no pré-teste.

3.3.3 Protocolos de teste

Para os protocolos de testes T1 e T2 foram utilizados questionários utilizados por autores internacionais, cuja tradução foi depurada durante fase exploratória, envolvendo o problema de estoque-fluxo. Esses questionários foram apresentados a uma amostra por conveniência de alunos de graduação e pós-graduação em administração de empresas.

As classes que constituíram a amostra foram divididas em dois grupos aos quais foi apresentado um problema de acumulação nos reservatórios de São Paulo, utilizando a metodologia de aprendizagem baseada em problemas, PBL. Para um dos grupos (grupo experimental) foi solicitado trabalhar com dados quantitativos e gráficos mostrando a evolução do comportamento dos reservatórios que compõem o sistema ao longo do tempo (tratamento - PBL1). Ao segundo grupo (grupo controle) foi solicitada a coleta de dados qualitativos e a elaboração de uma política de incentivos para reduzir o consumo (tratamento placebo - PBL2). A hipótese de pesquisa é que no pós-teste, após a entrega dos trabalhos solicitados no PBL, o desempenho do primeiro grupo (PBL1) seria melhor. De acordo com o delineamento experimental estabelecido foram aplicados dois protocolos de teste diferentes, de forma a evitar que uma eventual melhora pudesse ser atribuída a uma aprendizagem pela utilização do mesmo teste antes e depois do tratamento.

Com a finalidade de corroborar resultados de pesquisas anteriores e poder estabelecer um paralelo com outros estudos foram adotados os protocolos de teste da loja de departamentos e da floresta, utilizados respectivamente por Cronin, Gonzalez e Sterman (2009) e por Fischer no estudo que realizou em conjunto com Kapmeier, Tabacaru e Kopainsky (2015). Os

protocolos foram traduzidos para o português e foram depurados por diversas aplicações prévias antes do uso no estudo experimental, esses protocolos de teste estão reproduzidos nas Figuras 25 e 26 respectivamente.

Figura 25 – Protocolo Loja de departamentos

NOME _____

O gráfico abaixo mostra o número de pessoas entrando e saindo de uma loja de departamentos, durante o período de 12 minutos.

Por favor, responda as seguintes perguntas, considerando o período apresentado. Assinale o marcador à direita se a resposta não puder ser determinada a partir da informação fornecida.

1. Durante qual minuto mais pessoas entraram na loja?
   Minuto _____ □ Não pode ser determinado
2. Durante qual minuto mais pessoas saíram da loja?
   Minuto _____ □ Não pode ser determinado
3. Durante qual minuto havia mais gente na loja?
   Minuto _____ □ Não pode ser determinado
4. Durante qual minuto havia menos gente na loja?
   Minuto _____ □ Não pode ser determinado

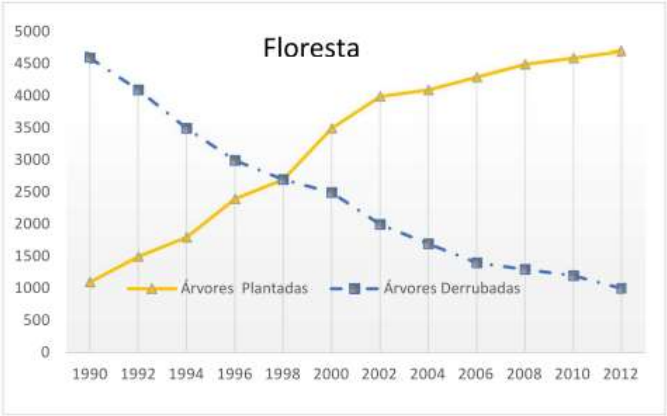
Fonte: Cronin, Gonzalez e Sterman, 2009, p.120, tradução nossa

Os protocolos, uma vez depurados, foram aplicados a uma amostra de 116 respondentes que participaram do tratamento e realizaram tanto o pré-teste, quanto o pós-teste. Os protocolos foram distribuídos de forma alternada, para evitar a cópia de alunos que estavam próximos e, quando da realização do pós-teste, tomou-se o cuidado de garantir que cada aluno respondesse um questionário diferente do que tinha respondido no pré-teste.

Figura 26– Protocolo da Floresta

NOME _____

O gráfico abaixo mostra o número de árvores que foram derrubadas e plantadas numa floresta, em cada intervalo, durante o período de 22 anos.



Por favor, responda as seguintes perguntas, considerando o período apresentado. Assinale o marcador à direita se a resposta não puder ser determinada a partir da informação fornecida.

1. Em que ano mais árvores foram plantadas?
   Ano _____ □ Não pode ser determinado
2. Em que ano mais árvores foram derrubadas?
   Ano _____ □ Não pode ser determinado
3. Em que ano havia mais árvores na floresta?
   Ano _____ □ Não pode ser determinado
4. Em que ano havia menos árvores na floresta?
   Ano _____ □ Não pode ser determinado

Fonte: Fischer et al., 2015, p. 10, tradução nossa.

3.3.4 Amostra

O intervalo entre a aplicação do pré-teste e do pós-teste foi de 6 semanas, tempo que os alunos levaram para concluir o trabalho proposto nos tratamentos PBL1e PBL2. A Tabela 2 apresenta a composição de cada uma das turmas que participaram do quase-experimento, sendo que em função do sorteio aleatório para o tratamento, 70 alunos foram submetidos ao tratamento PBL1 e 46 alunos ao tratamento PBL2.

Tabela 2 – Composição da Amostra

		GÊNERO		Total
		FEM	MAS	
Especialização Pós-adm.	Contagem	21	14	35
	% em Amostra	60,00%	40,00%	100,00%
	% do Total	18,10%	12,10%	30,20%
Graduação 4° semestre TA	Contagem	19	25	44
	% em Amostra	43,20%	56,80%	100,00%
	% do Total	16,40%	21,60%	37,90%
Graduação 4° semestre TB	Contagem	18	19	37
	% em Amostra	48,60%	51,40%	100,00%
	% do Total	15,50%	16,40%	31,90%
Total	Contagem	58	58	116
	% em Amostra	50,00%	50,00%	100,00%
	% do Total	50,00%	50,00%	100,00%

Fonte: Autor

3.3.5 Tratamento PBL – O sistema Cantareira

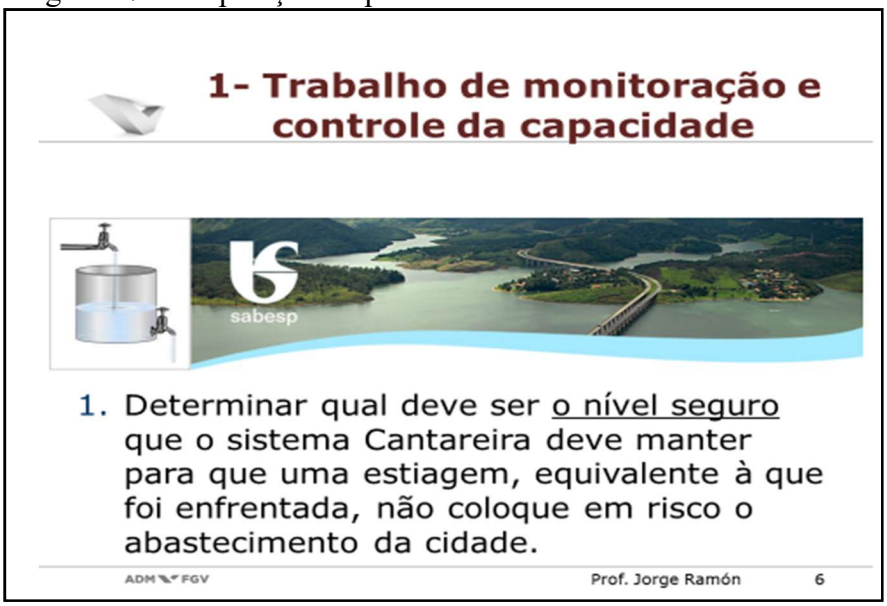
O tratamento proposto, consistiu de um processo de aprendizagem baseado em problemas relativo à crise hídrica enfrentada pela cidade de São Paulo em 2014-2015, denominado: Planejamento e Gestão de Recursos, como forma de incentivar a associação com outros problemas de gestão que apresentam uma estrutura semelhante.

O delineamento experimental foi aplicado como parte integrante dos cursos regulares nas três turmas, na disciplina Jogos de negócios para o curso de especialização Pós-graduação em Administração e na disciplina de Modelagem de apoio à tomada de decisão para as duas turmas de graduação. Para atender o delineamento experimental foi necessário definir um tratamento "placebo" para o grupo controle. Desta forma, o problema a ser resolvido foi apresentado sob duas formas.

a) Tratamento PBL1: qual o nível seguro para suportar uma estiagem equivalente à que foi enfrentada em 2014-2015 (tratamento);
b) Tratamento PBL2: definir políticas de gestão de demanda para incentivar a economia de água em momentos de crise (placebo).

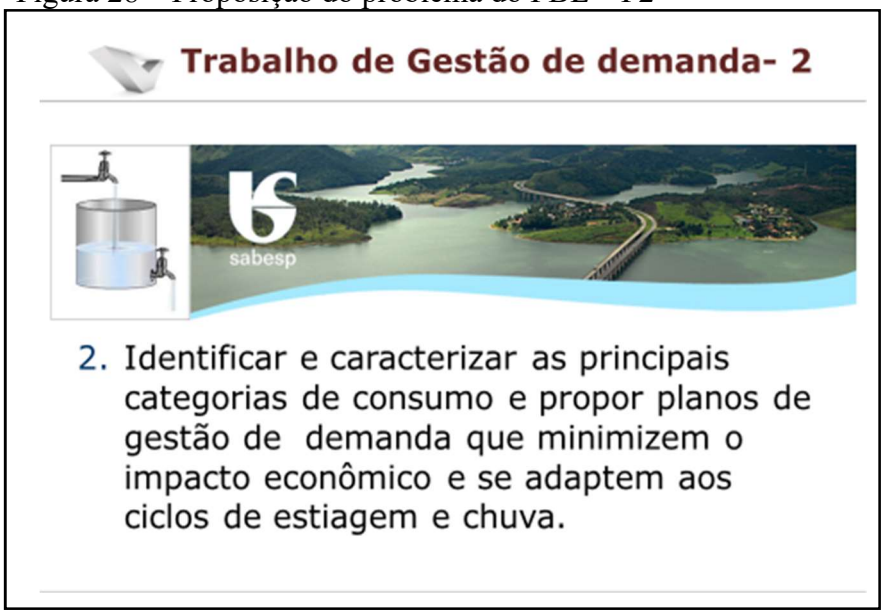
As Figuras 27 e 28 reproduzem os slides utilizados para a apresentação dos dois problemas aos participantes. A apresentação completa pode ser consultada no Apêndice C.

Figura 27 – Proposição do problema do PBL - PBL1



Fonte: Autor

Figura 28 – Proposição do problema do PBL – P2



Fonte: Autor

A apresentação dos problemas foi precedida de dois filmes motivacionais de pequena duração. No primeiro foi apresentado um desenho animado reproduzindo o relato bíblico da interpretação dos sonhos do Faraó do Egito por José, como ilustração da antiguidade do problema de gestão de recursos (estoque de alimentos) diante de fluxos pouco controláveis (chuva e estiagem) e um segundo relativo ao volume efetivo de água potável no mundo.

Na sequência, os participantes foram divididos em grupos de no máximo 5 alunos no caso do curso de especialização e de no máximo de 3 alunos no caso das turmas de graduação,

mas a aplicação do pré-teste e do pós-teste, foi feita de forma individual independentemente da forma de tratamento e do questionário aplicado.

Figura 29 – Cronograma de atividades e entregas PBL1

	CRONOGRAMA DE ATIVIDADES E ENTREGAS
DATA	**ENTREGA /ATIVIDADE – TRABALHO 1**
27/09/16	1. Apresentação do trabalho 2. Divisão dos grupos 3. Sorteio dos trabalhos
04/10/16	1ª ENTREGA 1. Caracterização do sistema a. Composição / Capacidade b. Indicadores / Regiões atendidas
11/10	2ª ENTREGA 2. Caracterização do fluxo afluente (fluxo de entrada) a. Médias históricas / Mínimos e máximos b. Vazão afluente em 2014 c. Representação gráfica no tempo do fluxo afluente 3. Questões a serem respondidas a. A vazão afluente em 2014 foi atípica? b. Como se compara com a média histórica? c. Há outros períodos com vazões semelhantes d. Em que anos? e. É possível identificar ciclos?
18/10	3ª ENTREGA 4. Exercícios de integração gráfica 5. Caracterização do fluxo efluente (fluxo de saída) a. Caracterização do fluxo efluente em 2014 e em 2016 b. Como evoluiu o fluxo efluente antes e depois da crise? c. Quais os fatores que podem influenciar o volume efluente? d. Representação gráfica do fluxo efluente e. Identificação de tendências? De sazonalidade? 6. Caracterização do fluxo "líquido" (entrada-saída) a. Representação gráfica dos três fluxos: afluente, efluente e líquido na condição de estiagem de 2014.
25/10	4ª ENTREGA FINAL 7. Exercícios de integração gráfica 8. Definição de modelo para simular evolução do volume a. Definição de premissas b. Utilize o volume atual e o fluxo de estiagem por dois anos. c. Calcule o período para entrar no volume morto? d. Defina política de monitoramento e controle 9. A quais outros problemas de administração se aplica este modelo? a. Na área de finanças? b. Na área de produção? c. Na área de sustentabilidade? d. Na área de logística?

Fonte: Autor

Os participantes do tratamento PBL1 foram estimulados a resolver problemas envolvendo fluxos de entrada e saída por meio do procedimento de integração gráfica proposto por Sterman (2000), enquanto os participantes do tratamento PBL2 foram estimulados a caracterizar qualitativamente os tipos de consumo e definir prioridades de atendimento e

políticas de incentivo ao reuso e à economia de água. As Figuras 30 e 31 ilustram o cronograma de atividades solicitados aos participantes, envolvendo as tarefas necessárias para a solução dos problemas apresentados. Na entrega final os dois grupos foram estimulados a transferir o conhecimento adquirido para outras áreas da administração, a partir de questões específicas.

Figura 30 – Cronograma de atividades e entregas PBL 2

	CRONOGRAMA DE ATIVIDADES E ENTREGAS
DATA	**ENTREGA /ATIVIDADE – TRABALHO 2**
27/09/16	1. 2. Apresentação do trabalho 3. Divisão dos grupos 4. Sorteio dos trabalhos
04/10/16	1ª ENTREGA 1. Caracterização do sistema a. Composição /Capacidade b. Indicadores / Regiões atendidas
11/10/16	2ª ENTREGA 2. Caracterização das modalidades de consumo a. Consumo Agrícola / Industrial / Comercial b. Consumos Doméstico / Consumo Público c. Perdas 3. Questões a serem respondidas a. O consumo em 2014 foi atípico? b. Como se compara com a média histórica? c. Há outros períodos com consumos semelhantes d. Em que anos? e. É possível identificar ciclos?
18/10/16	3ª ENTREGA 4. Políticas de gestão da demanda e incentivo de economia para as áreas a. Agrícola, Indústria e comércio b. Doméstico / ações de contingência c. Combate às Perdas 5. Iniciativas de preservação de mananciais a. Poder público / legislação b. Iniciativa privada c. Novas fontes de captação (experiência de Israel)
25/10/16	4ª ENTREGA FINAL 6. Política de Governança a. Definição de premissas b. Defina política de monitoramento e controle c. Política de divulgação de informações e transparência 7. A quais outros problemas de administração se aplica este modelo? a. Na área de finanças? b. Na área de produção? c. Na área de sustentabilidade? d. Na área de logística? e. Que ferramentas podem ser usadas para modelar esses problemas?

Fonte: Autor

4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS

A seguir, são apresentados os resultados da fase exploratória e os resultados do pré-teste e do pós-teste do quase-experimento, acompanhados de sua análise e interpretação.

4.1 RESULTADOS DA FASE EXPLORATÓRIA

O questionário depurado envolvendo um menino que brinca de andar no sentido contrário de uma esteira rolante num aeroporto, foi aplicado a 161 estudantes, nesse teste foram fornecidas as velocidades da esteira e do menino que alterna intervalos com velocidades constantes e intervalos de descanso (função degrau) e foram avaliadas seis respostas.

Os resultados para os 6 tipos de operações avaliadas estão apresentados na Tabela 3. É importante observar que a principal dificuldade dos estudantes reside na representação gráfica da função diferença, que apresenta o menor percentual de acerto entre todos os itens (62,7%), isto significa que quando o estudante utiliza uma representação numérica para o cálculo de uma função diferença tem um desempenho significativamente superior (90,1%) se considerarmos exclusivamente a lógica de cálculo.

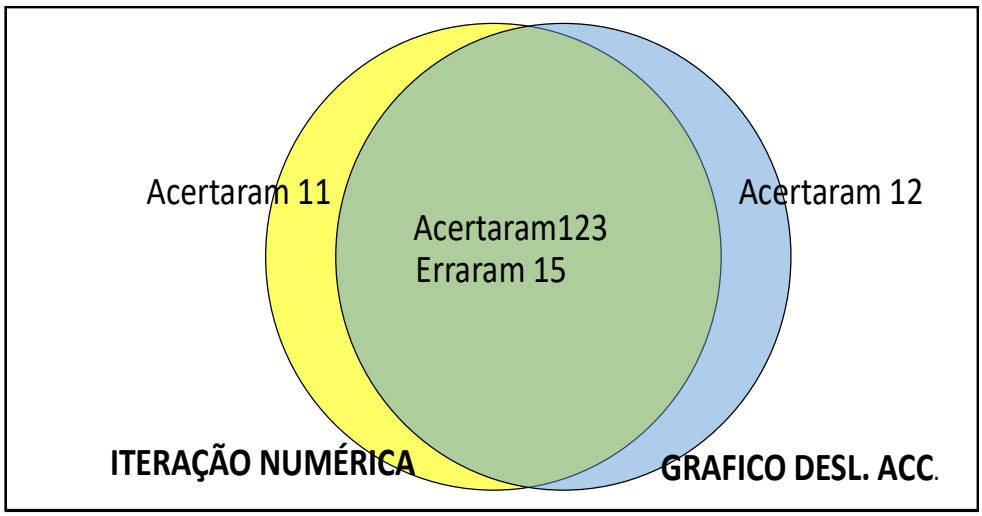
Tabela 3 – Resultados do questionário de iterações e integrações

	Porcentagem válida		**Frequência**	
	Correto	**Errado**	**Certo**	**Errado**
Representação numérica da iteração de diferenças - Lógica de cálculo -	**90,1**	9,9	145	16
Representação numérica da iteração de diferenças - Cálculo correto -	**83,2**	16,8	134	27
Representação gráfica de velocidade - Função degrau -	**75,8**	24,2	122	39
Representação gráfica de velocidade - Função constante (negativa) -	**72,7**	27,3	117	44
Representação gráfica de velocidade diferença de velocidades.	**62,7**	37,3	101	60
Representação gráfica de deslocamento acumulado.	**83,9**	16,1	135	26

Fonte: Autor

Verifica-se, também, que a representação gráfica das funções degrau e constante tem um desempenho inferior ao da representação gráfica do deslocamento acumulado, que corresponde à integração da função velocidade (75,8% e 72,7% contra 83,9%). Pode-se especular que a natureza das variáveis (espaço, no caso da representação gráfica de deslocamento, e velocidade, no caso da representação das diferenças) representadas tenha influência sobre a facilidade de representação, uma vez que a variável velocidade envolve uma relação entre duas outras o espaço e o tempo.

Figura 31 – Resultados dos testes da fase exploratória.



Fonte: Autor

Outro resultado digno de registro é o percentual de coincidência entre os resultados da representação numérica da iteração e os resultados da representação gráfica do deslocamento acumulado.

Como pode ser observado na Figura 31, quase noventa e dois por cento (91,8% = 123/134) dos que acertaram a lógica da iteração numérica acertaram o gráfico do deslocamento acumulado o que nos levou a realizar o teste de independência nas respostas χ^2 para variáveis categóricas. A hipótese nula H_0 é que as duas variáveis da tabela de contingência são independentes, não existindo nenhuma relação entre elas. A Figura 32 apresenta os resultados desse teste.

Figura 32 – Teste de independência nas respostas para as variáveis representação gráfica do deslocamento acumulado e iteração de diferenças cálculo.

Representação numérica da iteração de diferenças cálculo correto * Repreentação gráfica de desclocamento acumulado Tabulação cruzada

			Repreentação gráfica de desclocamento acumulado		
			ERRADO	CORRETO	Total
Representação numérica da iteração de diferenças cálculo correto	ERRADO	Contagem	15	12	27
		Contagem Esperada	4,4	22,6	27,0
	CORRETO	Contagem	11	123	134
		Contagem Esperada	21,6	112,4	134,0
Total		Contagem	26	135	161
		Contagem Esperada	26,0	135,0	161,0

Testes qui-quadrado

	Valor	df	Significância Sig. (2 lados)	Sig exata (2 lados)	Sig exata (1 lado)
Qui-quadrado de Pearson	37,202[a]	1	,000	,000	,000
Correção de continuidade[b]	33,788	1	,000		
Razão de verossimilhança	29,201	1	,000	,000	,000
Teste Exato de Fisher				,000	,000
N de Casos Válidos	161				

a. 1 células (25,0%) esperavam uma contagem menor que 5. A contagem mínima esperada é 4,36.

b. Computado apenas para uma tabela 2x2

Fonte: Autor

Apesar de existir uma célula com contagem esperada menor que 5, Lewontin e Felsestein (1965) concluíram que o teste fornece resultados precisos quando todas as frequências esperadas forem iguais ou superiores a 0,5. O resultado do teste de independência mostra que a hipótese nula deve ser rejeitada ($p<0,01$), indicando que existe uma relação estatisticamente significativa entre as respostas para as duas variáveis.

Este resultado será retomado adiante, por isso importa registrar que a representação gráfica de espaço percorrido, que corresponde à integração da função diferença de velocidades, tem um nível de acerto elevado para aqueles que previamente acertaram o cálculo analítico correspondente, sem necessariamente representar adequadamente a função diferença, isto é, os estudantes conseguem **"traduzir" para um gráfico resultados analíticos**.

De maneira análoga foram realizados os testes de independência entre a lógica do cálculo (representação analítica) e as representações gráficas das velocidades. Na Figura 33 é apresentado o teste de independência nas respostas χ^2 para as variáveis categóricas: iteração de diferenças lógica de cálculo e representação gráfica de velocidade função degrau.

Figura 33 – Teste de independência nas respostas para as variáveis: iteração de diferenças lógica de cálculo e representação gráfica de velocidade função degrau.

Representação numérica da iteração de diferenças lógica de cálculo * Representação gráfica de velocidade função degrau Tabulação cruzada

			Representação gráfica de velocidade função degrau		
			ERRADO	CORRETO	Total
Representação numérica da iteração de diferenças lógica de cálculo	ERRADO	Contagem	8	8	16
		Contagem Esperada	3,9	12,1	16,0
	CORRETO	Contagem	31	114	145
		Contagem Esperada	35,1	109,9	145,0
Total		Contagem	39	122	161
		Contagem Esperada	39,0	122,0	161,0

Testes qui-quadrado

	Valor	df	Significância Sig. (2 lados)	Sig exata (2 lados)	Sig exata (1 lado)
Qui-quadrado de Pearson	6,431[a]	1	,011		
Correção de continuidade[b]	4,966	1	,026		
Razão de verossimilhança	5,600	1	,018		
Teste Exato de Fisher				,026	,017
N de Casos Válidos	161				

a. 1 células (25,0%) esperavam uma contagem menor que 5. A contagem mínima esperada é 3,88.

b. Computado apenas para uma tabela 2x2

Fonte: Autor

O resultado do teste de independência mostra que a hipótese nula deve ser rejeitada ($p<0,01$), indicando que existe uma relação estatisticamente significativa entre as respostas para as duas variáveis. O mesmo resultado pode ser observado para o teste de independência χ^2 entre as variáveis iteração de diferenças lógica de cálculo e representação gráfica de velocidade função constante, como pode ser observado na Figura 34.

Apesar dos resultados demonstrarem que existe uma relação estatisticamente significativa entre as respostas para as questões envolvendo a representação numérica de iterações de diferenças e cada uma das representações gráficas das velocidades que correspondem aos termos da diferença a ser considerada, deve ser observado que a mesma relação não se observa para a representação gráfica da diferença de velocidades. Assim como no caso da representação gráfica da integração gráfica da função diferença, este resultado será retomado adiante.

Figura 34 – Teste de independência nas respostas para as variáveis iteração de diferenças, lógica de cálculo, e representação gráfica de velocidade função constante.

Representação numérica da iteração de diferenças lógica de cálculo * Representação gráfica de velocidade função constante Tabulação cruzada

			Representação gráfica de velocidade função constante		
			ERRADO	CORRETO	Total
Representação numérica da iteração de diferenças lógica de cálculo	ERRADO	Contagem	9	7	16
		Contagem Esperada	4,4	11,6	16,0
	CORRETO	Contagem	35	110	145
		Contagem Esperada	39,6	105,4	145,0
Total		Contagem	44	117	161
		Contagem Esperada	44,0	117,0	161,0

Testes qui-quadrado

	Valor	df	Significância Sig. (2 lados)	Sig exata (2 lados)	Sig exata (1 lado)
Qui-quadrado de Pearson	7,482[a]	1	,006		
Correção de continuidade[b]	5,952	1	,015		
Razão de verossimilhança	6,652	1	,010		
Teste Exato de Fisher				,014	,010
N de Casos Válidos	161				

a. 1 células (25,0%) esperavam uma contagem menor que 5. A contagem mínima esperada é 4,37.

b. Computado apenas para uma tabela 2x2

Fonte: Autor

É importante registrar que a representação gráfica da diferença de velocidades, não tem uma relação estatisticamente significativa com a representação numérica de iterações de diferenças, como pode ser observado na Figura 35.

Figura 35– Teste de independência nas respostas para as variáveis iteração de diferenças, lógica correta e representação gráfica de diferença de velocidades.

Representação numérica da iteração de diferenças lógica de cálculo * Representação gráfica de diferença de velocidades Tabulação cruzada

			Representação gráfica de diferença de velocidades		
			ERRADO	CORRETO	Total
Representação numérica da iteração de diferenças lógica de cálculo	ERRADO	Contagem	9	7	16
		Contagem Esperada	6,0	10,0	16,0
	CORRETO	Contagem	51	94	145
		Contagem Esperada	54,0	91,0	145,0
Total		Contagem	60	101	161
		Contagem Esperada	60,0	101,0	161,0

Testes qui-quadrado

	Valor	df	Significância Sig. (2 lados)	Sig exata (2 lados)	Sig exata (1 lado)
Qui-quadrado de Pearson	2,738[a]	1	,098		
Correção de continuidade[b]	1,911	1	,167		
Razão de verossimilhança	2,639	1	,104		
Teste Exato de Fisher				,110	,085
N de Casos Válidos	161				

a. 0 células (0,0%) esperavam uma contagem menor que 5. A contagem mínima esperada é 5,96.

b. Computado apenas para uma tabela 2x2

Fonte: Autor

Os resultados desta fase orientaram o desenvolvimento da elaboração dos exercícios operatórios que deveriam ser tratados e da formulação da questão proposta no processo de aprendizagem baseada em problemas para o grupo experimental PBL1. Mais especificamente, constatou-se que seria necessário que no PBL1 houvesse exercícios que lidassem diretamente com a função diferença e que o exercício de integração gráfica fosse praticado para que os alunos desenvolvessem uma compreensão das inter-relações envolvidas no problema da acumulação, a partir de sua representação gráfica de forma que pudessem "traduzir" as representações gráficas de duas funções diretamente para a função diferença.

4.2 QUASE-EXPERIMENTO RESULTADOS DO PRÉ-TESTE

O pré-teste foi aplicado a uma amostra de 116 alunos caracterizada anteriormente na Tabela 2 – Composição da Amostra. A Tabela 4 apresenta os resultados do pré-teste para os dois questionários e para a amostra como um todo.

Tabela 4 – Resultados do questionário de loja de departamentos / floresta

	Porcentagem válida			**Frequência**			**Total**
	Errado	**Correto**	**ND**	**Errado**	**Correto**	**ND**	
Questão 1. Mais entrando na loja / Mais árvores plantadas	**10,3%**	**89,7%**	**0,0%**	**12**	**104**	**0**	**116**
Questão 2. Mai saindo da loja / Mais árvores derrubadas	**19,0%**	**79,3%**	**1,7%**	**22**	**92**	**2**	**116**
Questão 3. Mais clientes na loja / Mais árvores na floresta	**25,9%**	**51,7%**	**22,4%**	**30**	**60**	**26**	**116**
Questão 4. Menos clientes na loja / Menos árvores na floresta	**45,7%**	**31,0%**	**23,3%**	**53**	**36**	**27**	**116**

Fonte: Autor

Um grande percentual dos participantes identificou corretamente os intervalos em que ocorrem os máximos de entrada (plantio) e saída (derrubada) correspondendo respectivamente a 89,7% e 79,5% do total, sendo inferiores aos percentuais observados por Cronin, Gonzalez e Sterman (2009) respectivamente 96% e 95% para as questões 1 e 2. No entanto, poucos foram capazes de responder corretamente as questões 3 e 4 que relacionam o estoque ao fluxo, que tiveram apenas 51,7% e 31,0% de respostas corretas respectivamente. Para estas questões os percentuais observados por Cronin, Gonzalez e Sterman (2009) foram respectivamente 44% e

31%. Dos participantes 22,4% indicaram que a resposta à questão três não pode ser determinada enquanto que 23,3% indicaram essa resposta para a questão 4. Comparativamente os resultados obtidos por Cronin, Gonzalez e Sterman (2009) para essas questões foi de 17% e 25% respectivamente.

Chama a atenção nesses resultados o nível de acerto para a questão 3, superior aos resultados obtidos por Cronin, Gonzalez e Sterman (2009), sendo que os resultados para as questões 1 e 2 que indicam a habilidade de leitura de gráficos simples foram inferiores. Para analisar esse resultado são apresentados nas Tabelas 5 e 6 as frequências correspondentes as mesmas questões separadas por protocolo de teste, isto é, Questionário da Loja de departamentos (CRONIN; GONZALEZ; STERMAN, 2009) ou Questionário da Floresta (FISCHER et al., 2015).

Tabela 5 – Resultados do questionário da loja de departamentos

	Porcentagem válida			**Frequência**			**Total**
	Errado	**Correto**	**ND**	**Errado**	**Correto**	**ND**	
Questão 1. Mais entrando na loja / Mais árvores plantadas	**11,5%**	**88,5%**	**0,0%**	**7**	**54**	**0**	**61**
Questão 2. Mai saindo da loja / Mais árvores derrubadas	**26,2%**	**73,8%**	**0,0%**	**16**	**45**	**0**	**61**
Questão 3. Mais clientes na loja / Mais árvores na floresta	**41,0%**	**42,6%**	**16,4%**	**25**	**26**	**10**	**61**
Questão 4. Menos clientes na loja / Menos árvores na floresta	**41,0%**	**42,6%**	**16,4%**	**25**	**26**	**10**	**61**

Fonte: Autor

Tabela 6 – Resultados do questionário da floresta

	Porcentagem válida			**Frequência**			**Total**
	Errado	**Correto**	**ND**	**Errado**	**Correto**	**ND**	
Questão 1. Mais entrando na loja / Mais árvores plantadas	**9,1%**	**90,9%**	**0,0%**	**5**	**50**	**0**	**55**
Questão 2. Mai saindo da loja / Mais árvores derrubadas	**10,9%**	**85,5%**	**3,6%**	**6**	**47**	**2**	**55**
Questão 3. Mais clientes na loja / Mais árvores na floresta	**9,1%**	**61,8%**	**29,1%**	**5**	**34**	**16**	**55**
Questão 4. Menos clientes na loja / Menos árvores na floresta	**50,9%**	**18,2%**	**30,9%**	**28**	**10**	**17**	**55**

Fonte: Autor

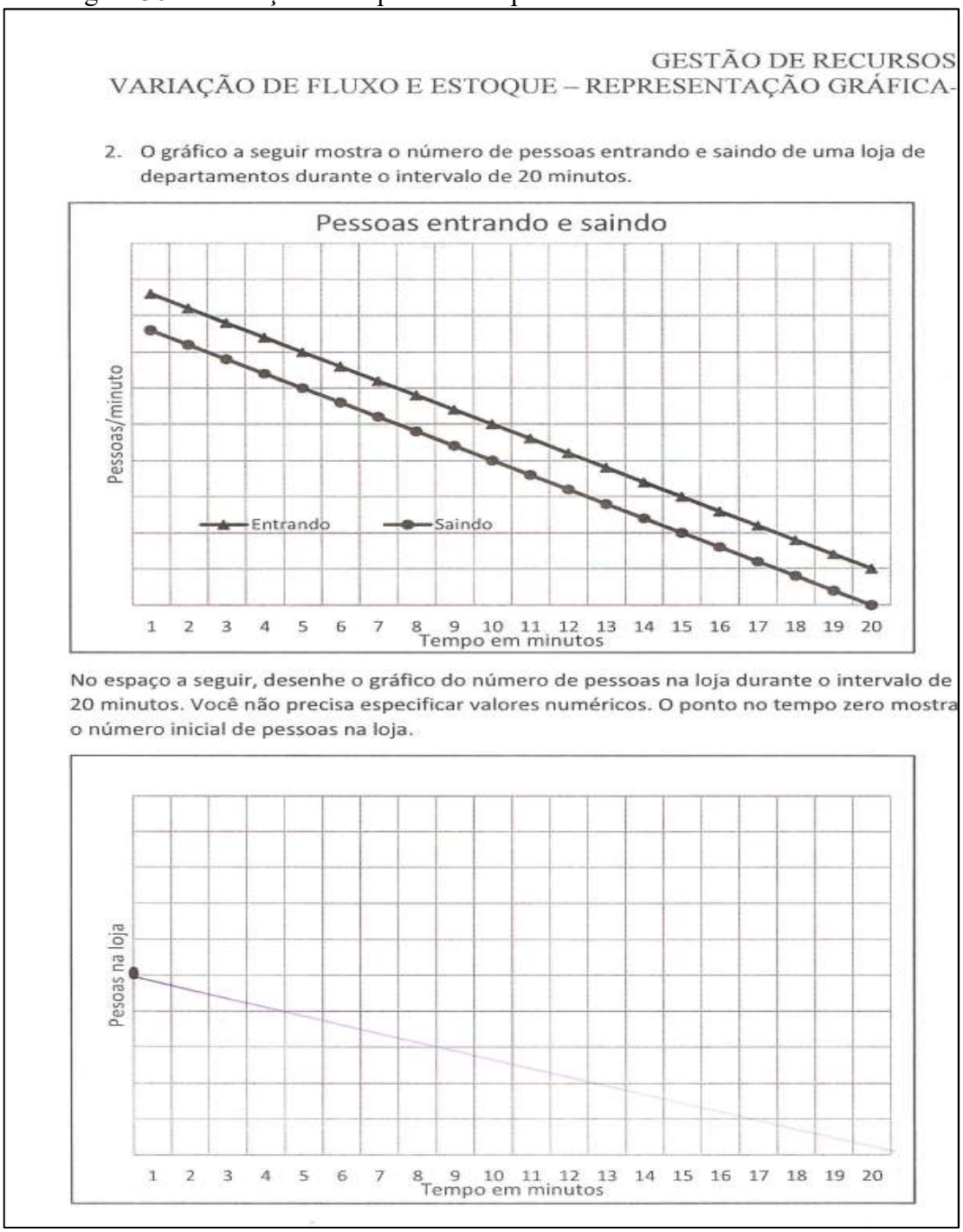
Como pode ser observado, os resultados das questões 3 e 4 apresentam uma maior consistência no questionário da loja de departamentos (42,6% corretas nas duas questões), do que no questionário da floresta (61,8% corretas na questão 3 e apenas 18,2 na questão 4). Essas questões representam a compreensão da relação entre estoque e fluxo, pois determinam se os participantes conseguem coordenar as relações entre fluxo de entrada, fluxo de saída, a diferença entre ambos os fluxos e o resultado da acumulação, isto é o saldo (estoque) resultante. Em princípio, não haveria razão para que aqueles que conseguem coordenar os fluxos para determinar o ponto máximo do estoque não o façam também para o mínimo.

Ao longo do trabalho de tabulação foi ficando claro que o protocolo desenvolvido por Fischer et al. (2015) apresenta um problema na questão 3, uma vez que a heurística correlacional pode explicar parte do volume de acertos nessa questão do questionário, já que o máximo de plantio de árvores coincide com o máximo de árvores na floresta e, desta forma, o fato de ter acertado essa questão não significa necessariamente que o respondente é capaz de realizar as coordenações necessárias para inferir a resposta correta, podendo também ser devida ao fenômeno de heurística correlacional.

O fenômeno de heurística correlacional, já constatado por diversos autores (SWEENEY; STERMAN, 2000; STERMAN; SWEENEY, 2002; CRONIN; GONZALEZ; STERMAN, 2009; STERMAN, 2010) também foi observado neste estudo, associado aos pontos de diferença máxima e mínima entre os fluxos respectivamente para definir os pontos de máximo e mínimo estoque. Observou-se também a dificuldade de alguns respondentes em representar a **função degrau e a função constante** e alguns alunos indicaram que não podiam concluir por não estar definido o saldo inicial do estoque (clientes na loja ou árvores na floresta). As figuras 36, 38 e 39 ilustram algumas dessas respostas.

Como pode ser observado na Figura 36 o respondente indica que o número de pessoas na loja diminui acompanhando o formato do gráfico dos fluxos, mesmo verificando que o número de pessoas que entra é, durante todo o intervalo considerado, maior que o número que sai, o que necessariamente implica num aumento de pessoas na loja (estoque) apesar da diminuição dos fluxos de entrada e de saída, ilustrando o fenômeno de heurística correlacional verificado por diversos pesquisadores.

Figura 36 – Ilustração de resposta correspondente à heurística correlacional



Fonte: Autor

A Figura 37 ilustra a dificuldade de alguns alunos de representar a função degrau, observada no questionário de iterações e integrações, apesar do respondente ser capaz de representar corretamente o espaço percorrido, correspondendo à integração gráfica da diferença de velocidades no tempo. Esta dificuldade não tinha sido reportada em estudos anteriores.

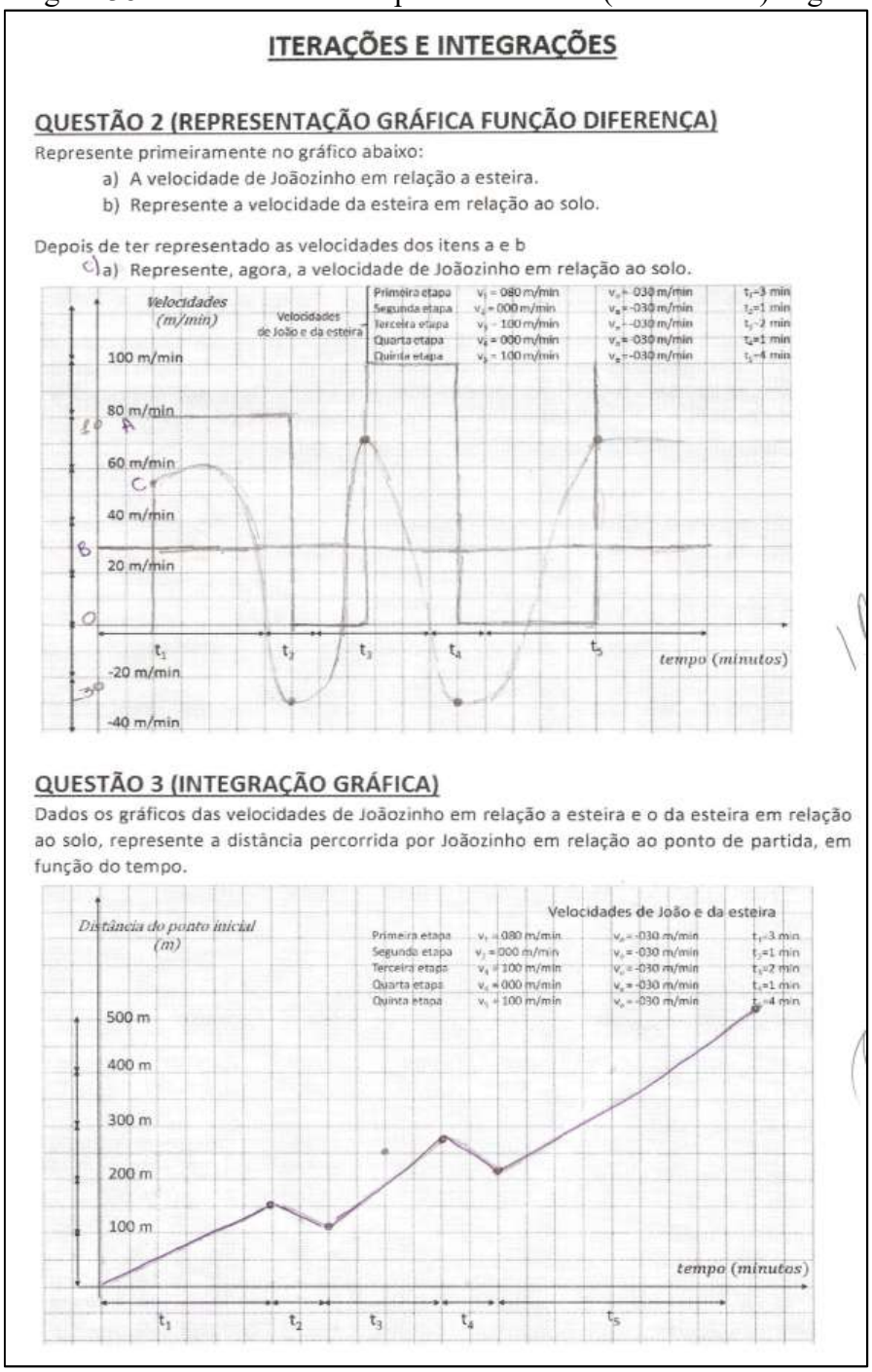
Figura 37 – Dificuldade de representação da função degrau.

Fonte: Autor

É importante observar que a representação gráfica do deslocamento, que corresponde à integração da função diferença de fluxos em relação ao tempo, é corretamente elaborada quando é solicitado previamente o cálculo analítico das distâncias percorridas correspondente. Antecipando a interpretação, podemos inferir que: de forma geral os estudantes são capazes de "traduzir" uma "representação analítica" em uma "representação gráfica".

A Figura 38 ilustra outra dificuldade não identificada em estudos anteriores que corresponde à “resistência” ou dificuldade de alguns alunos representar velocidades (fluxos) negativos, mesmo quando o espaço destinado para a resposta contempla, no eixo vertical, a escala negativa necessária para essa representação. O aluno foi capaz de representar corretamente a função degrau e a função constante sem, no entanto, ser capaz de representa-la com valor negativo, nem representar a função diferença de velocidades.

Figura 38 – Dificuldade em representar fluxos (velocidades) negativos

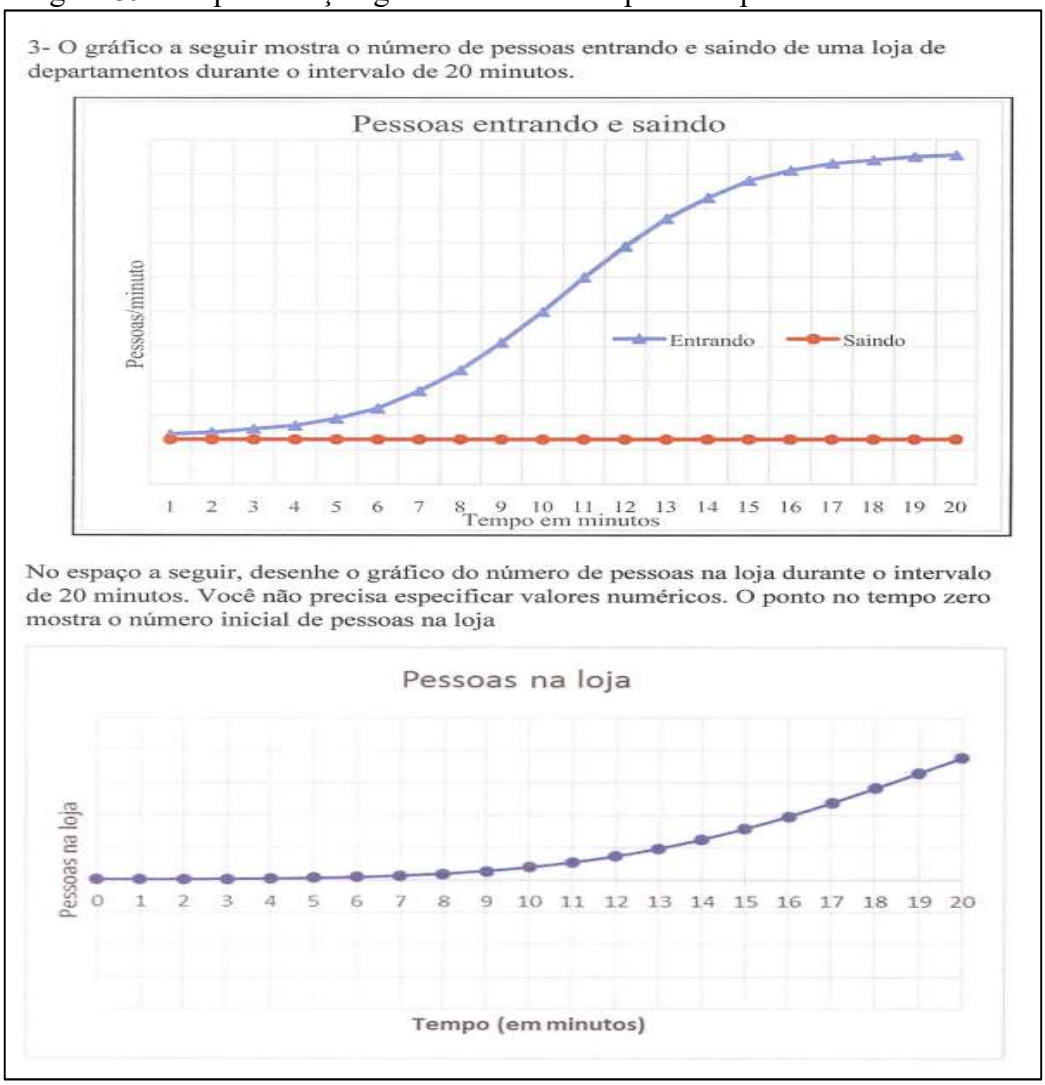


Fonte: Autor

A Figura 39 representa o caso extremo de um estudante que acertou todos os exercícios de integração gráfica, solicitados durante o processo de aprendizagem baseada em problemas. Este aluno não utilizou a folha padrão de respostas entregue para a elaboração (manual) do exercício, mas transcreveu os dados para a planilha de cálculo Excel® da plataforma Microsoft Office®, e, a partir desses dados, construiu os gráficos nessa planilha, o que, por um lado, dá suporte à interpretação de que os alunos conseguem traduzir o resultado de um cálculo analítico numa representação gráfica adequada, mas, por outro, não garante a compreensão intuitiva da construção do gráfico resultante.

Isto traz profundas implicações para o ensino, pois se de um lado oferece uma ferramenta capaz de facilitar a representação do resultado, por outro não garante que o aluno tenha o entendimento correto da relação entre essas duas grandezas e o papel do tempo.

Figura 39 – Representação gráfica elaborada a partir da plataforma Microsoft Office®



Fonte: Autor

4.3 QUASE-EXPERIMENTO RESULTADOS DO PÓS-TESTE

A seguir são apresentados os resultados do pós-teste, em correspondência aos apresentados no pré-teste. A Tabela 7 apresenta os resultados do pós-teste para os dois questionários e para a amostra considerada como um todo, para facilitar a comparação são reapresentados, nessa tabela os resultados do pré-teste.

Tabela 7 – Resultados do pós-teste - questionário de loja de departamentos/floresta

	Porcentagem válida			Frequência			Total
	Errado	Correto	ND	Errado	Correto	ND	
Questão 1. Mais entrando na loja / Mais árvores plantadas	**6,9%**	**93,1%**	**0,0%**	**8**	**108**	**0**	**116**
Questão 2. Mai saindo da loja / Mais árvores derrubadas	**9,5%**	**90,5%**	**0,0%**	**11**	**105**	**0**	**116**
Questão 3. Mais clientes na loja / Mais árvores na floresta	**23,3%**	**59,5%**	**17,2%**	**27**	**69**	**20**	**116**
Questão 4. Menos clientes na loja / Menos árvores na floresta	**31,0%**	**51,7%**	**17,2%**	**36**	**60**	**20**	**116**

Resultados do pré-teste - questionário de loja de departamentos/floresta

	Porcentagem válida			Frequência			Total
	Errado	Correto	ND	Errado	Correto	ND	
Questão 1. Mais entrando na loja / Mais árvores plantadas	**10,3%**	**89,7%**	**0,0%**	**12**	**104**	**0**	**116**
Questão 2. Mai saindo da loja / Mais árvores derrubadas	**19,0%**	**79,3%**	**1,7%**	**22**	**92**	**2**	**116**
Questão 3. Mais clientes na loja / Mais árvores na floresta	**25,9%**	**51,7%**	**22,4%**	**30**	**60**	**26**	**116**
Questão 4. Menos clientes na loja / Menos árvores na floresta	**45,7%**	**31,0%**	**23,3%**	**53**	**36**	**27**	**116**

Fonte: Autor

Os resultados do pós-teste apresentam uma melhoria em todas as questões, quando comparados com os resultados do pré-teste, como pode ser observado na Tabela 8, apesar disso, há uma variação muito expressiva entre os resultados das questões 3 e 4 que pode ser atribuída ao problema da heurística correlacional, mencionado anteriormente na questão 3, isto é,

respondentes que não desenvolveram a compreensão intuitiva entre fluxo e estoque, podem ter acertado a questão, porque o máximo de árvores na floresta coincide com o máximo de árvores plantadas em um determinado período.

Tabela 8 – Comparativo dos resultados corretos do pré-teste e do pós-teste

	PRÉ-TESTE		**PRÉ-TESTE**	
	%	Freq.	**%**	Freq.
Questão 1. Mais entrando na loja / Mais árvores plantadas	**89,7%**	**104**	**93,1%**	**108**
Questão 2. Mai saindo da loja / Mais árvores derrubadas	**79,3%**	**92**	**90,5%**	**92**
Questão 3. Mais clientes na loja / Mais árvores na floresta	**51,7%**	**60**	**59,5%**	**69**
Questão 4. Menos clientes na loja / Menos árvores na floresta	**31,0%**	**36**	**51,7%**	**60**

Fonte: Autor

A Tabela 9 mostra o comparativo dos resultados entre o pré-teste e o pós-teste, considerando aqueles estudantes que acertaram simultaneamente as questões 3 e 4, classificados pelo tipo de tratamento a que foram submetidos, isto é, se faziam parte do grupo de experimental ou do grupo de controle.

Tabela 9 – Comparativo dos resultados do pré-teste e do pós-teste questões 3 e 4 corretas por tipo de tratamento

	Pré-teste	Pós-teste	Δ
	Q3 e Q4	Q3 e Q4	Pré-Pós
Grupo Controle	23,9% (11/46)	39,1% (18/46)	15,20%
Grupo Tratamento	30,0% (21/70)	54,3% (38/70)	24,30%

Fonte: Autor

A hipótese deste estudo é que a aprendizagem experiencial, implementada no presente trabalho por meio da aprendizagem baseada em problemas (PBL) do tratamento PBL1 favorece o desenvolvimento da compreensão intuitiva da relação fluxo estoque, o que pode ser expresso formalmente de acordo com as hipóteses nula H0, e hipótese alternativa H_a.

a) H0: Não haverá diferença de desempenho do pré-teste e do pós-teste para o grupo que foi submetido ao tratamento PBL1.
b) H_a: Os grupos de alunos submetidos ao tratamento PBL1 apresentarão um desempenho superior no pós-teste do que no pré-teste.

O teste estatístico adequado para poder avaliar a hipótese do estudo é o teste de McNemar, uma vez que o que se quer verificar são as diferenças entre duas amostras pareadas, ele é especialmente apropriado em experimentos do tipo pré e pós-teste em que o sujeito é utilizado como seu próprio controle e a variável é medida em escala nominal ou ordinal. Importam, pois, as diferenças que registram a mudança na observação do atributo considerado (resposta correta).

Tendo em vista os problemas apontados em relação à questão 3 do questionário de Fischer et al. (2009), será utilizado como critério de medição a comparação do desempenho dos participantes que acertaram ambas as questões 3 e 4, isto é, aqueles que demonstraram de forma inequívoca a compreensão da relação entre estoque e fluxo e que foram capazes de determinar os intervalos de tempo em que os estoques (pessoas na loja, árvores na floresta) atingiram seus pontos de máximo e de mínimo, desta forma eliminamos da comparação aqueles alunos que, em função da heurística correlacional acertaram o máximo estoque por coincidir com o máximo de árvores plantadas.

Figura 40 – Teste de McNemar para os estudantes submetidos ao tratamento PBL1

ACERTOU INFERÊNCIA PRÉ * ACERTOU INFERÊNCIA PÓS Tabulação cruzada

Contagem

		ACERTOU INFERÊNCIA PÓS		
		errado	correto	Total
ACERTOU INFERÊNCIA PRÉ	errado	26	23	49
	correto	6	15	21
Total		32	38	70

Testes qui-quadrado

	Valor	Sig exata (2 lados)
Teste de McNemar		,002[a]
N de Casos Válidos	70	

a. Distribuição binomial usada.

Fonte: Autor

O resultado do teste de McNemar para os estudantes submetidos ao tratamento PBL1, apresentado na Figura 40, indica que a hipótese nula deve ser rejeitada ($p<0,01$).

Pode-se argumentar que a melhoria de desempenho se deu em função da aprendizagem durante o curso e não devido aos tratamentos adotados no programa de aprendizagem baseada em problemas o que implica na necessidade de testar as hipóteses nula H0 e alternativa H_a apresentadas anteriormente para o grupo de alunos que foi submetido ao tratamento PBL2,

adotando o mesmo critério de acerto, isto é, considerando apenas os alunos que acertaram simultaneamente as questões 3 e 4.

a) H0: Não haverá diferença de desempenho do pré-teste e do pós-teste para o grupo que foi submetido ao tratamento PBL2.
b) H_a: Os grupos de alunos submetidos ao tratamento PBL2 apresentarão um desempenho superior no pós-teste do que no pré-teste.

A Figura 41, apresenta o resultado do teste de McNemar aplicado aos estudantes submetidos ao tratamento PBL2. Este resultado não permite que a hipótese nula seja rejeitada, indicando que não há diferença estatisticamente significativa, no desempenho dos alunos submetidos ao tratamento PBL2.

Figura 41 – Teste de McNemar para os estudantes submetidos ao tratamento PBL2

ACERTOU INFERÊNCIA PRÉ * ACERTOU INFERÊNCIA PÓS Tabulação cruzada

Contagem

		ACERTOU INFERÊNCIA PÓS		
		errado	correto	Total
ACERTOU INFERÊNCIA PRÉ	errado	23	12	35
	correto	5	6	11
Total		28	18	46

Testes qui-quadrado

	Valor	Sig exata (2 lados)
Teste de McNemar		,143[a]
N de Casos Válidos	46	

a. Distribuição binomial usada.

Fonte: Autor

Como pode ser visto na Figura 41 a hipótese nula não pode ser rejeitada mesmo considerando um valor $p<0,10$. A combinação dos testes de McNemar realizados para os grupos que receberam o tratamento PBL1 e o tratamento PBL2 permite concluir que há uma diferença estatisticamente significativa apenas no desempenho dos alunos que foram submetidos ao tratamento PBL1 o que dá suporte à hipótese geral do presente trabalho.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Partindo da análise detalhada do problema e da teoria da aprendizagem experiencial, foi possível elaborar um tratamento para melhorar o desempenho de estudantes no problema da acumulação.

A elaboração do tratamento PBL1, envolvendo os conceitos associados ao problema da acumulação na forma de uma aprendizagem baseada em problemas PBL, fomentou o exercício operatório de algumas coordenações necessárias para a solução do problema de estoque-fluxo. Para tanto, alguns elementos essenciais foram levados em consideração: a) foi apresentado um problema autêntico com relevância para todos os habitantes da região metropolitana de São Paulo; b) os estudantes foram colocados no papel de gestores da crise hídrica, de forma a apoiá-los a apropriar-se do problema global como um todo; c) todas as atividades de aprendizagem foram ancoradas numa tarefa maior; d) o ambiente de aprendizagem foi desenhado de forma a desafiar e apoiar o pensamento do aluno; e) problema proposto foi delineado de forma a fazer emergir os conceitos e princípios vinculados à área de conteúdo que se pretendia explorar; f) os objetivos de aprendizagem estavam claramente definidos.

Em síntese, o tratamento proposto propiciou o ciclo de aprendizagem, promovendo a experimentação ativa, a partir da experiência concreta e significativa da crise hídrica, a observação reflexiva e a abstração conceitual dos estudantes nas operações e esquemas necessários para o aprimoramento no desempenho na solução do problema de estoque-fluxo, representado pelo abastecimento de água potável da cidade de São Paulo.

Nos estudos exploratórios também foi constatado que os alunos que conseguem resolver analiticamente a questão das iterações são capazes de representar graficamente a solução que foi calculada analiticamente. Isto pode ser interpretado como a capacidade de "traduzir" uma solução analítica em uma solução gráfica, isto é, resolvem o problema da acumulação desde que tenha sido previamente, calculado de forma analítica.

O mesmo não se observa para a representação gráfica da função diferença. Este resultado surpreendente parece indicar a falta de repertório para operar diretamente com representações gráficas, o que pode ser explicado pela falta de exercícios operatórios nessa área. Estes resultados são consistentes com os encontrados por outros pesquisadores que reportam que os estudantes consideram mais fácil partir de um texto escrito para elaborar o gráfico de estoque do que dos gráficos dos fluxos de entrada e saída. Também são consistentes com as melhorias reportadas quando se estimula o estabelecimento de relações entre os fluxos por meio

de procedimentos de integração gráfica, ou quando se chama a atenção para o aspecto “global” da questão por meio da comparação entre os fluxos de entrada e saída.

A melhoria observada nos resultados a partir de um curso de Dinâmica de Sistemas é coerente com os resultados aqui apresentados já que, pela sua própria natureza, propicia o exercício operatório com representações de fluxo e estoque na forma gráfica e, em particular, com a conversão de unidades envolvida nessa transformação, sendo este um erro frequente dos estudantes ao lidar com o software envolvido, o que os obriga a refazer as operações de conversão exercitando a compreensão da transformação de fluxo em estoque e as correspondentes representações gráficas. Por exemplo, o exercício operatório que envolve a integração gráfica de uma função constante numa função linear e a integração desta que resulta numa função quadrática e assim sucessivamente, até a exponencial correspondendo à integração da exponencial, enriquecendo desta forma o repertório de respostas gráficas de que os alunos podem lançar mão quando se deparam com a necessidade de resolver problemas a partir de dados representados dessa forma.

Novas pesquisas podem ser propostas e novos exercícios podem ser elaborados neste campo utilizando ferramentas disponíveis, como o procedimento de integração gráfica elaborado por Sterman (2000) e de planilhas eletrônicas que facilitam a geração de gráficos a partir de tabelas, de forma que os estudantes desenvolvam a percepção intuitiva da integração gráfica e sua interpretação geométrica como a área sob a curva da função (fluxo líquido), correspondendo ao resultado da acumulação (estoque).

Se a melhoria de desempenho observada no problema da acumulação se transfere para outras áreas, permanece como uma questão a ser estudada. No entanto, o presente estudo apresenta uma contribuição significativa ao abordar esta questão na proposição do problema apresentado como tratamento. Ao solicitar aos alunos, explicitamente, como um exercício dentro do processo de aprendizagem baseada em problemas, que pesquisem a quais outros campos da administração se aplica a estrutura do problema proposto, o tratamento propicia um exercício que estimula a generalização da solução encontrada para as áreas de finanças, produção, logística, sustentabilidade, gestão pública e de uma forma geral para a gestão de recursos. O problema proposto também estimula a pesquisa de ferramentas que podem ser usadas para modelar esses problemas.

Mesmo não sendo o objeto inicial deste estudo, um resultado notável desta prática de ensino deve ser registrado. Alguns grupos de alunos foram muito além do esperado na formulação e solução do problema. Alguns deles para determinar mecanismos de monitoração lançaram mão de técnicas de controle estatístico de processos de forma a estabelecer limites de

controle superior e inferior e outros, ainda, de técnicas de modelagem utilizando a simulação de Monte Carlo. Notável também, o envolvimento de alguns grupos de alunos no problema de governança ao discutir a implantação de critérios diante da restrição de recursos que decorrem da crise hídrica, propugnando uma discussão ampla do tema e uma política de transparência na divulgação de informações. De forma geral o nível de trabalhos apresentados foi muito bom e demonstrou envolvimento com o problema. Em resumo, é possível afirmar que a aprendizagem experiencial propiciou a oportunidade para o desenvolvimento de novos repertórios para "ler" sistemicamente uma realidade complexa e propor uma atuação responsável, ética e competente.

Retomando o contexto amplo que deu origem a este estudo, é importante salientar que a falha de estoque-fluxo verificada por outros pesquisadores e confirmada pelo presente estudo demonstra a necessidade de rever a formação de administradores de forma que ela passe a incorporar o desenvolvimento de novas formas de abordar uma realidade complexa, mutante e fortemente interconectada. Paradoxalmente, as novas gerações de gestores terão de enfrentar, por um lado, ritmos de mudanças acelerados e, por outro, a inércia da carga de resíduos acumulada por muitos anos, cujos efeitos levarão longo tempo para serem revertidos. Avaliações equivocadas nessa área, conduzem a políticas com consequências graves quando, por exemplo, não se discrimina entre déficit (um fluxo) e dívida (um estoque) ou quando se define uma política climática de *"wait and see"* (esperar para ver), ignorando a inércia do sistema e a imensa dificuldade de modificar fluxos que envolvem modos de produção e modos de vida. Acompanhando outros autores, o presente estudo postula a necessidade de desenvolver nos novos gestores a capacidade de pensar sistemicamente entendida como a capacidade de: a) pensar sinteticamente; b) pensar nas realimentações (*Closed-Loop Thinking*) e c) pensar dinamicamente.

Neste ponto, o presente estudo, acrescenta uma contribuição específica à síntese elaborada por Atwater, Kannan e Stephens (2008). Aos elementos do pensamento sistêmico, enumerados pelos teóricos da área, é adicionado um fundamental: a **ênfase na explicitação da referência** (meta, objetivo) utilizada para autorregular ou autorreforçar o desempenho dos sistemas, conforme definido no item 2.4 ELEMENTOS DO PENSAMENTO SISTÊMICO.

Como tudo o que é ubíquo ou pervasivo, as referências utilizadas nos elos de realimentação são frequentemente dadas como certas (*taken for granted*), é o caso por exemplo dos resultados de uma organização, quando esta se mede exclusivamente pelo seu desempenho econômico (*bottom line*). Quando se lança luz sobre estas referências, quando se dá ênfase na sua explicitação, elas passam a receber atenção e podem ser, em muitos casos, objeto de análise crítica. Esta avaliação, esta apreciação crítica, permite evidenciar os paradigmas (ou objetivos)

que definem o comportamento dos sistemas. Isto é fundamental quando se trata de sistemas sociais e econômicos, por exemplo, quando se estabelecem referências adicionais ao desempenho de organizações (*triple bottom line*), passando a regular seu desempenho de uma forma que leva em conta as interações com o meio, a sustentabilidade ao longo do tempo e o sistema global, onde essas organizações estão inseridas.

A explicitação das referências é fundamental também, nos sistemas simbólicos, por exemplo, na aprendizagem individual e organizacional uma vez que, ao destacar a referência, permite que ela venha a ser modificada facilitando a aprendizagem de duplo elo.

Algumas limitações devem ser levadas em conta ao considerar o presente estudo, a primeira delas corresponde ao fato de ter-se trabalhado com uma amostra por acessibilidade e não com uma amostra aleatória ou com o conjunto completo da população estudada. A segunda está associada à não consideração de outras variáveis que poderiam influenciar o resultado como o histórico escolar dos membros dos grupos. Nesse sentido, sugere-se que novos estudos sejam realizados com a replicação do experimento em amostras maiores que permitam considerar as diferenças em relação a outras variáveis, incluindo variáveis demográficas.

Outro ponto a considerar é que apesar de estatisticamente significativa, a melhoria de desempenho não foi verificada em todos os estudantes submetidos ao tratamento PBL1, sendo que um número considerável deles não conseguiu responder corretamente. Ao longo do processo da elaboração do presente estudo e, em especial, na fase experimental ficou claro que o delineamento instrucional poderia ter sido aprimorado, incorporando sessões intermediárias onde os alunos apresentam seus resultados e suas dificuldades de forma que possam receber realimentação dos colegas e do facilitador, bem como com a incorporação de um número maior de exercícios que envolvam a percepção "intuitiva" da evolução de sistemas ao longo do tempo, isto é, exercícios envolvendo inferências a partir de dados na forma gráfica.

Finalmente, é importante chamar a atenção ao fato de que uma abordagem construtivista para a aprendizagem implica, sim, em um esforço persistente do estudante para realizar o exercício operatório necessário à obtenção de novos repertórios de esquemas para "ler" a realidade e para atuar de forma responsável, ética e sustentável, esforço que pode ser mais ou menos gratificante, mais ou menos penoso, dependendo do grau de envolvimento que o contexto, a abordagem e as práticas educativas propiciam para o aluno.

REFERÊNCIAS

ACKOFF, Russell L. Towards a system of systems concepts. **Management science**, v. 17, n. 11, p. 661-671, 1971.

_____.**Creating the corporate future: plan or be planned for.** New Jersey, Wiley**,** 1981.

_____. Transforming the systems movement. **The Systems Thinker**, v. 15, n. 8, p. 2-5, 2004. Disponível em: <http://www.acasa.upenn.edu/RLAConfPaper.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2015.

ATWATER, J. Brian; KANNAN, Vijay R.; STEPHENS, Alan A. Cultivating systemic thinking in the next generation of business leaders. **Academy of Management Learning & Education**, New York, v. 7, n. 1, p. 9-25, Mar. 2008.

BAGHAEI LAKEH, Arash; GHAFFARZADEGAN, Navid. Does analytical thinking improve understanding of accumulation? **System Dynamics Review**, v. 31, n. 1-2, p. 46-65, 2015.

BENNIS, Warren G.; O'TOOLE, James. How business schools lost their way. **Harvard Business Review**, Boston, v. 83, n. 5, p. 96-104, May 2005.

BERTALANFFY, Ludwig Von; RAPOPORT, Anatol. General systems. **Yearbook of the society for the Advancement of General System Theory**, v. 1, p. 1-10, 1956.

. The history and status of general systems theory. **Academy of Management Journal**, New York, v. 15, n. 4, p. 407-426, Dec. 1972.

BORGATTI NETO, R. **Perspectivas da complexidade aplicadas à gestão de empresas**. 2008. 290 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

BOX, George EP; DRAPER, Norman Richard. **Empirical model-building and response surfaces**. New York: Wiley, 1987.

BUCHANAN, James M.; STUBBLEBINE, William C. Externality. In: **Classic Papers in Natural Resource Economics**. Palgrave Macmillan UK, 1962. p. 138-154.

CANNON, Walter B. Organization for physiological homeostasis. **Physiological Reviews**, Boston, v. 9, n. 3, p.399-430, July, 1929.

COOPERRIDER, David L.; SRIVASTVA, Suresh. Appreciative inquiry in organizational life. **Research in organizational change and development**, v. 1, n. 1, p. 129-169, 1987.

CRONIN, Matthew A.; GONZALEZ, Cleotilde. Understanding the building blocks of dynamic systems. **System Dynamics Review**, Albany, v. 23, n. 1, p. 1-17, Spring 2007.

_____; _____; STERMAN, John D. Why don't well-educated adults understand accumulation? A challenge to researchers, educators, and citizens. **Organizational Behavior and Human Decision Processes**, Cambridge MA, v. 108, n. 1, p. 116-130, Jan. 2009.

D'ACOSTA RIVERA, J. R.; DOMENICO, S. M. R. D.; SAUAIA, A. C. A. Influência da dissimilaridade de valores individuais no resultado de times de alta gerência: um estudo em laboratório de gestão. **Revista Brasileira de Gestão de Negócios**, São Paulo v. 16, n. 50, p. 60-74, jan./mar. 2014.

FLAVELL, John H. **The developmental psychology of Jean Piaget.** Princeton, NJ, US: D. Van Nostrand, 1963.

FISCHER, Helen; KAPMEIER, Florian; TABACARU, Mihaela; KOPAINSKY, Birgit. the more you see the less you "get": On the importance of a higher-level perspective for understanding dynamic systems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE SYSTEM DYNAMICS SOCIETY, 33, 2015, Cambridge, MA. **Proceedings…** Cambridge, MA. Disponível em: <http://www.systemdynamics.org/conferences/2015/proceed/papers/P1222.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2015.

FORRESTER, Jay W. Counterintuitive behavior of social systems. **Theory and Decision**, v. 2, n. 2, p. 109-140, 1971.

_____. System dynamics, systems thinking, and soft OR. **System Dynamics Review**, Albany, v. 10, n. 2-3, p. 245-256, Summer – Fall, 1994.

_____. Some basic concepts in system dynamics. **Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology,** Cambridge, 2009. Disponível em: <http://www.cc.gatech.edu/classes/AY2013/cs7601_spring/papers/Forrester-SystemDynamics.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2017.

GHOSHAL, Sumantra. Bad management theories are destroying good management practices. **Academy of Management Learning & Education**, New York, v. 4, n. 1, p. 75-91, mar. 2005.

GODFREY, Paul C.; ILLES, Louise M.; BERRY, Gregory R. Creating breadth in business education through service learning. **Academy of Management Learning & Education**, New York, v. 4, n. 3, p. 309-323, Sep. 2005.

GONZALEZ, Cleotilde; DUTT, Varun. Learning to control a dynamic task: A system dynamics cognitive model of the slope effect. 2007. Disponível em: <http://repository.cmu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1082&context=sds> Acesso em 20 fev.2016.

GUTH, William D.; TAGIURI, Renato. Personal values and corporate-strategy. **Harvard Business Review**, Boston, v. 43, n. 5, p. 123-132, Sep. 1965.

HALL, A. D.; FAGEN, R. E. Definition of System, General Systems: The Yearbook of the Society for the Advancement of General Systems Theory, 1, 18-28. **B20, p363**, 1956.

HAMBRICK, D. C.; MASON, P. A. Upper echelons: the organization as a reflection of its top managers. **Academy of Management Review**, New York**,** n. 9, p. 193-206**,** Apr. 1984**.**

HIERONYMI, Andreas. Understanding systems science: a visual and integrative approach. **Systems Research and Behavioral Science**, Hull, v. 30, n. 5, p. 580-595, Sep./Oct. 2013.

HOLLAND, John H. Studying complex adaptive systems. **Journal of Systems Science and Complexity**, v. 19, n. 1, p. 1-8, 2006.
KAHNEMAN, Daniel; TVERSKY, Amos. **Intuitive prediction: Biases and corrective procedures**. DECISIONS AND DESIGNS INC MCLEAN VA, 1977.

KAINZ, Daniel; OSSIMITZ, Guenther. Can students learn stock-flow-thinking? An empirical investigation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE SYSTEM DYNAMICS SOCIETY, 20, 2002, Palermo, Italy. **Proceedings eletrônicos….** Palermo, Italy. Disponível em: <http://www.systemdynamics.org/conferences/2002/proceed/papers/Kainz1.pdf >. Acesso em: 20 Apr. 2016.

KAPMEIER, Florian. Findings from four years of bathtub dynamics at higher management education institutions in Stuttgart. In: **Proceedings of the 2004 International System Dynamics Conference**. 2004.

KLIR, G. J. The general system as a methodological tool. **General Systems**, v. 10, p. 29-42, 1965.

KOLB, Alice Y.; KOLB, David A. Learning styles and learning spaces: enhancing experiential learning in higher education. **Academy of Management Learning & Education**, New York**,** v. 4, n. 2, p. 193-212, Jun. 2005.

KOLB, David. Experiential Learning: Experience as the source of learning and development Prentice Hall. **Englewood Cliffs**, 1983.

_____. **Experiential learning as the science of learning and development.** . New Jersey, Prentice Hall Inc., 1984.

_____ et al. Experiential learning theory: previous research and new directions. **Perspectives on thinking, learning, and cognitive styles**, v. 1, p. 227-247, 2001.

LEWIN, Kurt. Action research and minority problems. **Journal of social issues**, v. 2, n. 4, p. 34-46, 1946.

LEWONTIN, Richard C.; FELSENSTEIN, Joseph. The robustness of homogeneity tests in 2 x N tables. **Biometrics**, v. 21, n. 1, p. 19-33, mar. 1965.

MACMILLAN PUBLISHERS LIMITED. **Macmillan dictionary**. 2015. Disponível em: <http://www.macmillandictionary.com/dictionary/british/running-total>. Acesso em: 04 nov. 2015.

MANNHEIM, Karl; STEWART, William Alexander Campbell. **Introdução à sociologia da educação**. 1969.

MARQUES, Jean Felipe et al. Estratégias de somação temporal e espacial na formação da memória declarativa de curto prazo. **Scripta**, v. 14, n. 26, p. 43-56, 2012.

MINTZBERG, Henry; GOSLING, Jonathan. Educating managers beyond borders. **Academy of Management Learning & Education**, New York**,** v. 1, n. 1, p. 64-76, Sep. 2002.

MORECROFT, John D. W. et al. Resource management under dynamic complexity. In: **Systems perspectives on resources, capabilities, and management processes.** London: Emerald Group Publishing Limited, 2002. p. 19-39.

MORIN, E. **Os sete saberes necessários à educação do futuro**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2000.

OSSIMITZ, G. Teaching system dynamics and systems thinking in Austria and Germany. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE SYSTEM DYNAMICS SOCIETY, 18, 2000, Bergen, Norway. **Proceedings eletrônicos…** Bergen, Norway, 2000. Disponível em: <http://www.systemdynamics.org/conferences/2000/PDFs/ossimitz.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2015.

_____. Stock-flow-thinking and reading stock-flow-related graphs: an empirical investigation in dynamic thinking abilities. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE SYSTEM DYNAMICS SOCIETY, 20, 2002, Palermo, Italy. **Proceedings eletrônicos…** Palermo, Italy. Disponível em: <http://www.systemdynamics.org/conferences/2002/proceed/papers/Ossimit1.pdf >. Acesso em: 20 abr. 2015.

PALA, Özge; VENNIX, Jac A. M. Effect of system dynamics education on systems thinking inventory task performance. **System Dynamics Review**, Albany, v. 21, n. 2, p. 147-172, Summer 2005.

PFEFFER, Jeffrey; FONG, Christina T. The end of business schools? Less success than meets the eye. **Academy of Management Learning & Education**, New York, v. 1, n. 1, p. 78-95, Sep. 2002.

PHUAH, Tony. **Can people learn behaviours of stock and flow using their ability to calculate running total? An experimental study**. 2010. 80 f. Dissertação (Mestrado em Filosofia em Dinâmica de Sistemas) – University of Bergen, Bergen, 2010.

PIAGET, J. **Science of education and the psychology of the child**. New York: Orion Press, 1970.

_____; SZEMINSKA, Alina. **A gênese do número na criança**. 2. ed. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1971.

_____; INHELDER, Barbel. **The growth of logical thinking from childhood to adolescence: an essay on the construction of formal operational structures**. Routledge: Kindle Edition, 2013.

POTASH, J.; HEINBOKEL, J. Assessing progress in systems thinking and dynamic modeling: some thoughts for educators. **Creative Learning Exchange**, 1997. Disponível em: <http://www.clexchange.org/ftp/newsletter/CLEx06.4.pdf >. Acesso em: 19 fev. 2015

RAMAPRASAD, Arkalgud. On the definition of feedback. **Systems Research and Behavioral Science**, v. 28, n. 1, p. 4-13, 1983.

RAPOPORT, Anatol. **General system theory: essential concepts & applications**. CRC Press, 1986.

RICHMOND, Barry. Systems thinking/system dynamics: Let's just get on with it. **System Dynamics Review**, v. 10, n. 2-3, p. 135-157, 1994

_____. The "thinking" in systems thinking: how can we make it easier to master? **The Systems Thinker**, Westford, v. 8, n. 2, p. 1-5, 1997.

_____. **The "Thinking" in systems thinking**: seven essential skills. Westford, MA: Pegasus Communication, 2000.

SAVERY, John R. Overview of problem-based learning: definitions and distinctions. In: _____. **Essential readings in problem-based learning:** exploring and extending the legacy of Howard S. Barrows. West Lafayette, Indiana: Purdue University Press, 2015. p. 5-15.

_____; DUFFY, Thomas M. Problem based learning: an instructional model and its constructivist framework. **Educational Technology**, v. 35, n. 5, p. 31-38, 1995.

SCHON, D. A. The reflective practitioner: How practitioners think in action. **London: Temple Smith**, 1983.

SENGE, Peter M. **The fifth discipline:** the art & practices of the learning organization. New York: Doubleday, 1990.

SIMON, Herbert A. **The sciences of the artificial**. Cambridge Massachusetts: MIT Press, 1996.

STAVE, Krystyna; HOPPER, Megan. What constitutes systems thinking? A proposed taxonomy. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE SYSTEM DYNAMICS SOCIETY, 25; 2007, Boston. **Proceedings eletrônicos…** Boston, 2007. Disponível em: <http://www.systemdynamics.org/conferences/2007/proceed/papers/STAVE210.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2015.

STEINER, Thomas L.; WELLS, Rebecca MJ. Integration of the business curriculum: The case of finance and marketing in a MBA program. **Financial Practice and Education**, v. 10, p. 148-159, 2000.

STERMAN, John D. **Business dynamics:** systems thinking and modeling for a complex world. Boston: Irwin/McGraw-Hill, 2000.

_____. All models are wrong: reflections on becoming a systems scientist. **System Dynamics Review**, Albany, v. 18, n. 4, p. 501-531, 2002.

_____; SWEENEY, Linda Booth. Cloudy skies: assessing public understanding of global warming. **System Dynamics Review**, Albany, v. 18, n. 2, p. 207-240, 2002.

_____. Does formal system dynamics training improve people's understanding of accumulation? **System Dynamics Review**, Albany, v. 26, n. 4, p. 316-334, 2010.

SWEENEY, Linda B.; STERMAN, John D. Bathtub dynamics: initial results of a systems thinking inventory. **System Dynamics Review**, Albany, v. 16, n. 4, p. 249-286, Winter 2000.

_____; _____. Thinking about systems: student and teacher conceptions of natural and social systems. **System Dynamics Review**, Albany, v. 23, n. 2-3, p. 285-311, 2007.

VERGARA, Sylvia Constant; BRANCO, Paulo Durval. Em busca da visão de totalidade. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 33, n. 6, p. 20-31, 1993.

WIENER, Norbert. **Cibernética e sociedade**. São Paulo: Editora Cultrix, 1968.

ANEXO A – Termos relacionados à complexidade

Tópico 5: Principais termos relacionados à complexidade	
Tese	**Dissertação**
• Não-linearidade • Emergência – propriedades emergentes • Sistemas complexos • Auto-organização • Interações • Feedback (negativo e positivo • Dinâmica do sistema • Limite do caos • Autopoiese • Teoria do caos • Complexidade • Comportamentos instáveis e não periódicos • Sistemas dinâmicos determinísticos • Equações logísticas (ou funções logísticas) • Dependência sensível às condições iniciais • Níveis críticos (criticalidade auto-organizada) • Espaço de fase • Atratores • Atratores estranhos • Fractal • Sistemas Adaptativos Complexos (SAC) • Agentes • Múltiplos níveis • Equilíbrio dinâmico • Co-evolução • Leis de potência • Regras simples • Metáforas • Intuição • Autonomia • Auto-organização de equipes • Negociação • Redundância • Cooperação • Diversidade • Caos criativo • Senso de urgência • Ambiguidades • Flexibilidade estratégica • Estruturas dissipativas • Distúrbio do equilíbrio • *Patching* • Inovação • Mecanismos mais descentralizados • Especificações mínimas	• Não-linearidade • Emergência • Sistemas complexos • Auto-organização • Interações • Retroalimentação (feedback) • Dinâmica de sistemas • Limite do caos • Autopoiese • Teoria do caos • Propriedades globais • Comportamentos complexos • Muitas partes interagindo • Perspectiva da complexidade • Princípios do pensamento complexo • Teoria da complexidade • Teoria de sistemas • Circularidade recursiva • Mudança de paradigma • Paradigma da complexidade • Relações antagônicas, complementares e concorrentes. • Autonomia • Autoprodução • Ordem e desordem • Causalidade complexa • Atraso • Interferência • Desvios • Sinergia • Aleatoriedade • Distinção e não separação • Inclusão do observador • Datação cultural, sociológica e histórica • Dialógica • Adaptabilidade • Aprendizagem • Evolução • Possuem propósito, função, tamanho, configuração e tipo de dinâmica • Provê, armazena e consome energia • Simples e complexo são complementares • Entre o determinado e o casual • Falta de previsibilidade • Probabilidade • *Order from noise* • *Order from fluctuations* • Não determinismo • Decomposição funcional limitada • Caráter distributivo das informações

Fonte: Borgatti Neto, 2008, p. 100

APÊNDICE A – Questionário de iterações e integrações

ITERAÇÕES E INTEGRAÇÕES

1. **Iteração no domínio do espaço (numérica e gráfica)**

Distâncias

Representação numérica:
Para chegar à cidade de São Francisco Xavier, no interior do estado, partindo de São Paulo, é necessário passar por Arujá, Jacareí e São José dos Campos, depois seguir para Monteiro Lobato e, finalmente, ir até São Francisco Xavier.

Pelas estradas, as distâncias aproximadas entre essas cidades são:

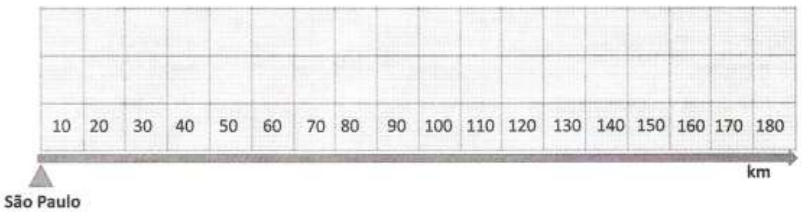
São Paulo a Arujá	=	d_1	=	40,00 km
Arujá a Jacareí	=	d_2	=	40,00 km
Jacareí a São José dos Campos	=	d_3	=	20,00 km
São José dos Campos a Monteiro Lobato	=	d_4	=	30,00 km
Monteiro Lobato a São Francisco Xavier	=	d_5	=	20,00 km

Calcule qual é a distância total, pelas estradas, para ir de São Paulo até São Francisco Xavier, passando por Arujá, Jacareí, São José dos Campos e Monteiro Lobato.

Distância São Paulo a São Francisco Xavier = $\sum d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5$

Distância São Paulo a São Francisco Xavier = _____

Representação gráfica:
A linha, a seguir representa as distâncias entre as cidades assinale, com um triangulo, os pontos onde você representaria as cidades de Arujá, Jacareí, São José dos Campos, Monteiro Lobato e São Francisco Xavier. Cada centímetro (linhas mais escuras) representa 10 km.



ITERAÇÕES E INTEGRAÇÕES

2. Integração no domínio do espaço (numérica e gráfica)

Áreas

Representação numérica:
João está planejando a plantação da próxima safra. Ele tem um terreno que tem 100 metros de largura. Ele decidiu plantar utilizando toda a extensão da largura e plantar na profundidade 10 m de milho, 20 m de mandioca e 30 m de feijão, 40 m de ervilha e 30 m de batata.

Largura do terreno	=	l	=	100,00 m
Milho 100 de largura e profundidade	=	p_1	=	10,00 m
Mandioca 100 de largura e profundidade	=	p_2	=	20,00 m
Feijão 100 de largura e profundidade	=	p_3	=	30,00 m
Ervilha 100 de largura e profundidade	=	p_4	=	40,00 m
Batata 100 de largura e profundidade	=	p_5	=	30,00 m

Calcule qual será a área total plantada se ele levar a cabo seu plano;

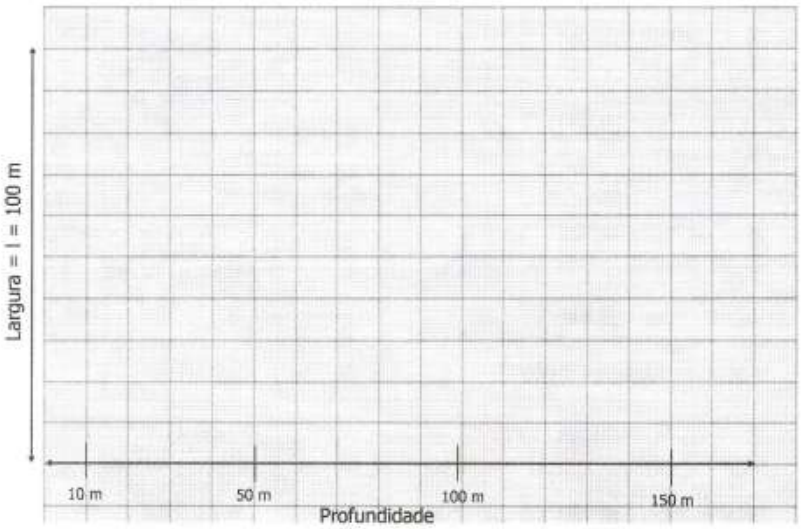
Área total de milho, mandioca, feijão, ervilha e batata =

$$= \sum p_1 \times l + p_2 \times l + p_3 \times l + p_4 \times l + p_5 \times l$$

Área total de milho, mandioca e feijão, ervilha e batata

= _____

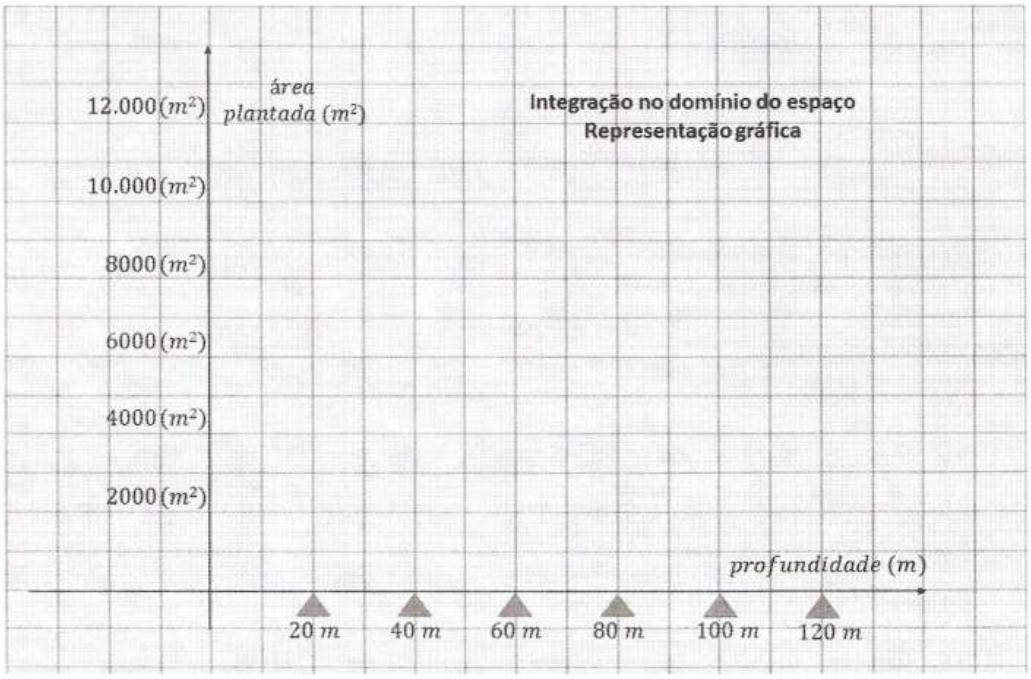
Representação física:
A folha milimetrada representa o **terreno** do João, onde estão representadas a largura e a profundidade **marque as áreas** que representam as plantações de milho, mandioca, feijão, ervilha e batata cada quadrado (linhas mais escuras) representa 10 m.



ITERAÇÕES E INTEGRAÇÕES

Representação gráfica:

Na folha milimetrada cada centímetro (linhas mais escuras) representa 10 m de profundidade no eixo horizontal do gráfico. Desenhe o gráfico que representa como a área plantada aumenta em função do aumento de profundidade, considerando a largura do terreno constante de 100 m.



Representação numérica:

Construa uma tabela indicando como varia a área plantada em função do aumento de profundidade, considerando a largura constante de 100m, indique a unidade de medida da área plantada.

Profundidade	Largura	Incremento de Área plantada	Área plantada Acumulada
10 m	100 m		
20 m	100 m		
30 m	100 m		
40 m	100 m		
50 m	100 m		
60 m	100 m		
70 m	100 m		
80 m	100 m		
90 m	100 m		
100 m	100 m		
110 m	100 m		
120 m	100 m		
130 m	100 m		

ITERAÇÕES E INTEGRAÇÕES

3. Iteração de diferenças no domínio do espaço (numérica e gráfica)

Distâncias

Numa guerra por domínio de território, dois exércitos medievais disputam o terreno palmo a palmo na frente de batalha. Na primeira batalha o exército amarelo conseguiu avançar 30 metros, mas foi forçado a ceder 10, na segunda avançou 15 e cedeu 25 e na terceira avançou 40 e cedeu 15, na quarta, avançou 20 e recuou 10 e, na quinta, avançou 30 e cedeu 5.

O resumo das batalhas é o seguinte para o **exército amarelo**:

Primeira batalha:	avanço	$d_1 =$	30m	recuo	r_1	=	10m
Segunda batalha:	avanço	$d_2 =$	15m	recuo	r_2	=	25m
Terceira batalha:	avanço	$d_3 =$	40m	recuo	r_3	=	15m
Quarta batalha:	avanço	$d_4 =$	20m	recuo	r_4	=	10m
Quinta batalha:	avanço	$d_5 =$	30m	recuo	r_5	=	05m

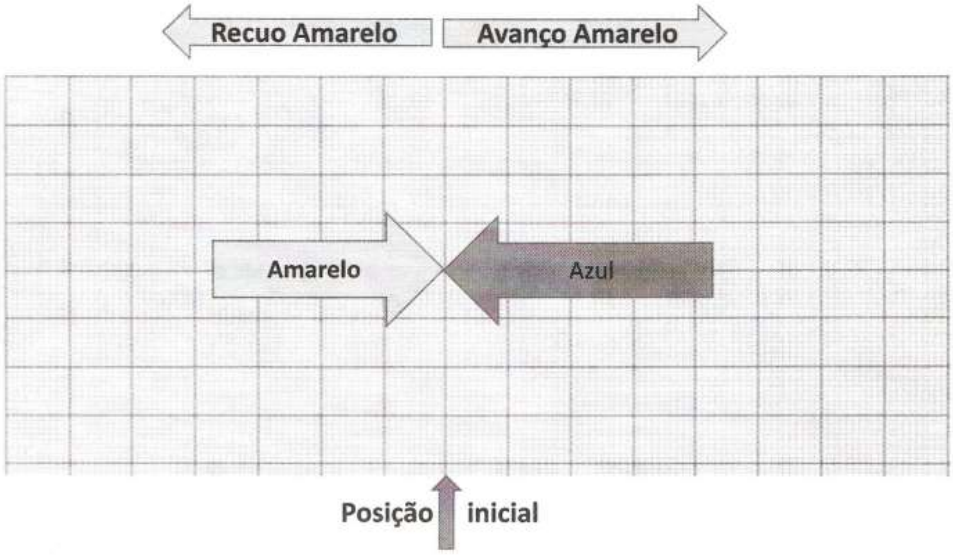
Calcule qual é a distância total, que o exército amarelo avançou ou recuou em relação a sua posição original.

Avanço do exército amarelo $= \sum (d_1 - r_1) + (d_2 - r_2) + (d_3 - r_3) + (d_4 - r_4) + (d_5 - r_5)$

Avanço do exército amarelo = _____

Representação física: (de acordo com os dados acima)

A folha milimetrada representa o terreno de batalha, cada centímetro (linhas mais escuras) representa 10 m. Se a figura a seguir representa a posição inicial dos dois exércitos, indique a posição final, após 5 batalhas.



ITERAÇÕES E INTEGRAÇÕES

Representação gráfica: amarela

Na folha milimetrada cada centímetro (linhas mais escuras) representa 10 m de avanço ou recuo no eixo vertical do gráfico. Represente no gráfico os avanços e os recuos **da equipe ~~azul~~ em cada batalha, partindo da posição inicial.**

Representação numérica:

Construa uma tabela indicando como varia a posição da equipe amarela, isto é a posição ao final de cada batalha.

Batalha	Avanço	Recuo	"Avanço líquido"	Posição ao final da batalha
1				
2				
3				
4				
5				

ITERAÇÕES E INTEGRAÇÕES

4. Integração de diferenças no domínio do espaço (numérica e gráfica)

Áreas

Representação numérica:

João realizou a plantação que planejou, isto é. No terreno 100 metros de largura. Ele plantou utilizando toda a extensão de largura e na profundidade 10 m de milho, 20 m de mandioca e 30 m de feijão, 40 m de ervilha e 30 m de batata. Uma praga de gafanhotos destruiu 5 m da plantação de milho 10 m da plantação de mandioca e ~~20~~ 5m m da plantação de feijão 15 m da plantação de batata e 15 m da plantação de soja.

Largura do terreno		$l =$	100m			
Milho	plantação	$p_1 =$	10m	estrago e_1	=	05m
Mandioca	plantação	$p_2 =$	20m	estrago e_2	=	10m
Feijão	plantação	$p_3 =$	30m	estrago e_3	=	05m
Ervilha	plantação	$p_4 =$	40m	estrago e_4	=	15m
Batata	plantação	$p_5 =$	30m	estrago e_5	=	15m

Calcule qual será a área total plantada que sobrou depois do estrago feito pelos gafanhotos.

Área total de milho, mandioca, feijão, ervilha e batata =

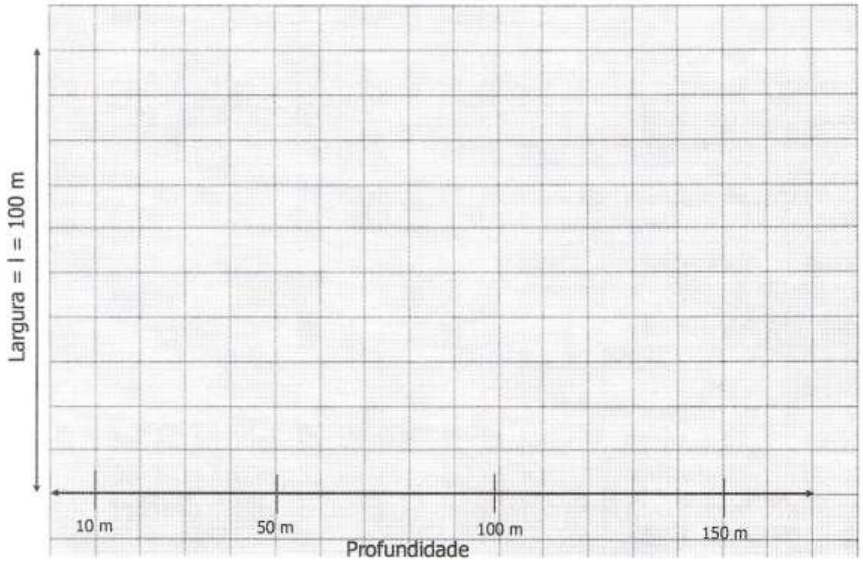
$$= \sum (p_1 - e_1) \times l + (p_2 - e_2) \times l + (p_3 - e_3) \times l + (p_4 - e_4) \times l + (p_5 - e_5) \times l$$

Área total de milho, mandioca e feijão

= _____

Representação física:

A folha milimetrada representa o terreno do João, onde estão representadas a largura e a profundidade. **Marque as áreas** que representam as **plantações** de milho, mandioca, feijão, ervilha e batata e que representam a **devastação** provocada pelos gafanhotos em cada cultura, cada centímetro (linhas mais escuras) representa 10 m.

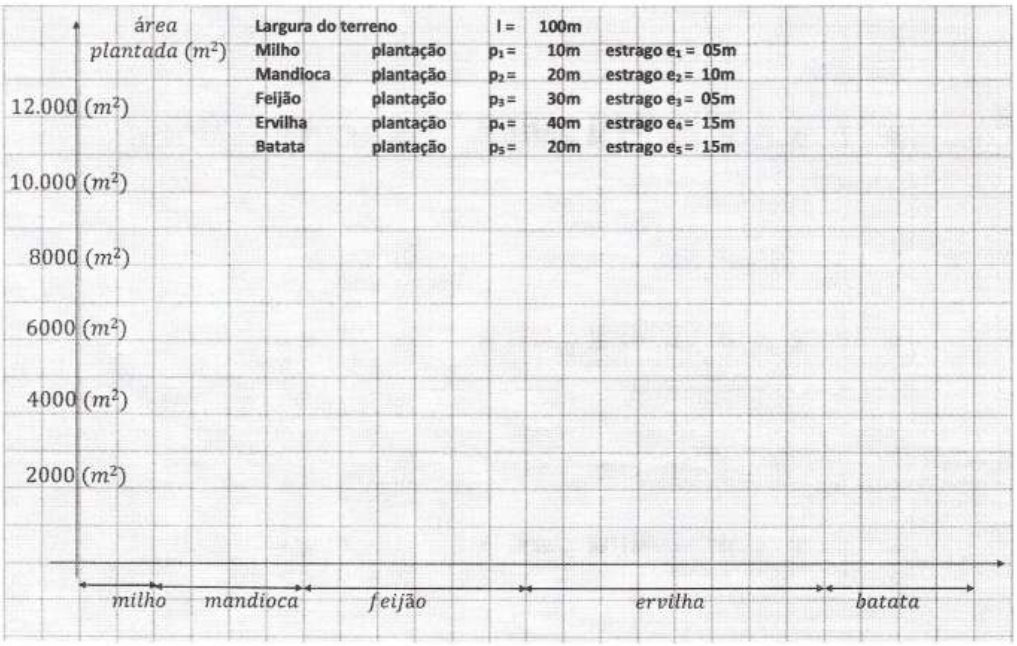


ITERAÇÕES E INTEGRAÇÕES

Representação gráfica:
Na folha milimetrada cada centímetro (linhas mais escuras) representa 5 m de profundidade no eixo horizontal do gráfico. Considere a largura do terreno constante de 100 m.

Desenhe o gráfico que representa:

a. A área **plantada acumulada** em função do aumento de profundidade considere a acumulação de todas as culturas, isto é, continue o gráfico de uma cultura, onde terminou a anterior.
b. A área de **estrago acumulada** causada pelos gafanhotos em função do aumento de profundidade, isto é, continue o gráfico do estrago de uma cultura onde terminou a anterior.



Representação numérica:
Construa uma tabela para calcular o total da área plantada, o total do estrago e o total útil (o que sobrou)

Cultura	Profundidade	Estrago	Área plantada	Área estragada	Área útil	Área útil acumulada
Milho	10 m	05m				
Mandioca	20 m	10m				
Feijão	30 m	05m				
Ervilha	40 m	15m				
Batata	20 m	15m				
TOTAIS						

ITERAÇÕES E INTEGRAÇÕES

5. **Iteração no domínio do tempo**
   Iteração numérica
   Iteração gráfica

Intervalos de tempo

Representação numérica:
Para chegar à cidade de São Francisco Xavier no interior do estado, partindo da cidade de São Paulo, é necessário passar primeiro, por Arujá, em seguida, por Jacareí, depois por São José dos Campos, posteriormente seguir para Monteiro Lobato e, finalmente, ir até São Francisco Xavier

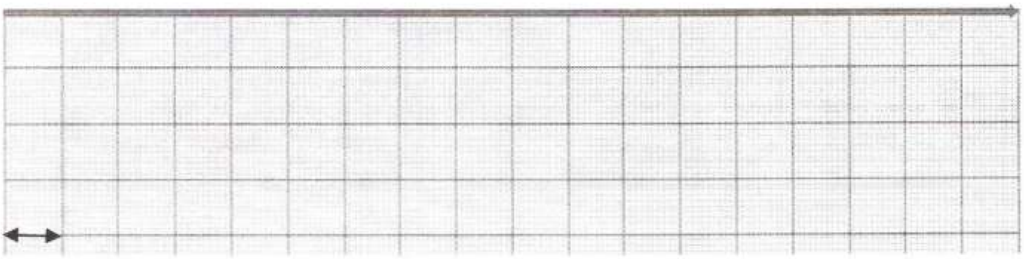
Os tempos de percurso, pelas estradas, entre essas cidades são, aproximadamente:

São Paulo a Arujá	=	t_1	=	40 min
Arujá a Jacareí	=	t_2	=	40 min
Jacareí a São José dos Campos	=	t_3	=	20 min
São José dos Campos a Monteiro Lobato	=	t_4	=	30 min
Monteiro Lobato a São Francisco Xavier	=	t_5	=	20 min

Calcule qual é o tempo total, pelas estradas, para ir de São Paulo a São Francisco Xavier, passando por Arujá, Jacareí, São José dos Campos e Monteiro Lobato.

Tempo de São Paulo a São Francisco Xavier = $\sum t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$
Tempo de São Paulo a São Francisco Xavier = _____

Representação gráfica:
A linha, a seguir representa os tempos entre as cidades, assinale com um triângulo os pontos onde você representaria os tempos para chegar às cidades de Arujá, Jacareí, São José dos Campos, Monteiro Lobato e São Francisco Xavier. Cada centímetro (linhas mais escuras) representa 10 min.



10 min
Δ São Paulo

ITERAÇÕES E INTEGRAÇÕES

6. **Integração no domínio do tempo**
   Integração numérica
   Integração gráfica

Áreas

Representação numérica:
João está andando sobre uma esteira ergométrica, seguindo um programa de treinamento que tem cinco etapas com duração de 10 minutos cada. Na primeira etapa a velocidade é de 80 metros por minuto, na segunda, de 90 metros por minuto, na terceira etapa é de 100 metros por minuto, na quarta é de 110 metros por minuto e, na quinta, reduz para 60 metros por minuto para terminar o treinamentoo.

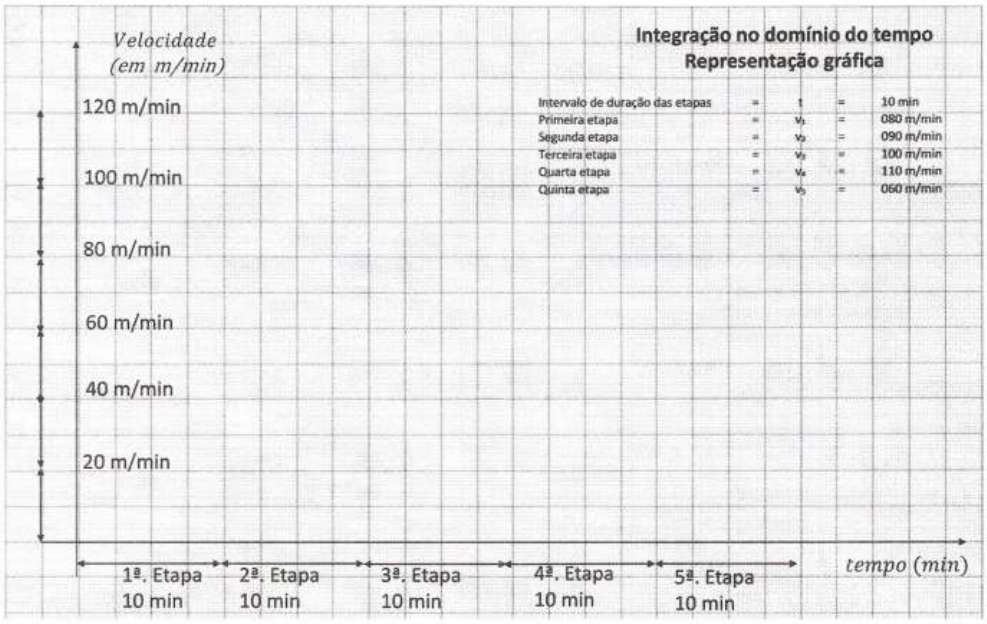
Intervalo de duração das etapas	=	t	=	10 min
Primeira etapa	=	v_1	=	080 m/min
Segunda etapa	=	v_2	=	090 m/min
Terceira etapa	=	v_3	=	100 m/min
Quarta etapa	=	v_4	=	110 m/min
Quinta etapa	=	v_5	=	060 m/min

Calcule qual será a distância total percorrida por João durante o seu treinamento.

Distância total percorrida = $\sum v_1 \times t + v_2 \times t + v_3 \times t + v_4 \times t + v_5 \times t$

Distância total percorrida = _____

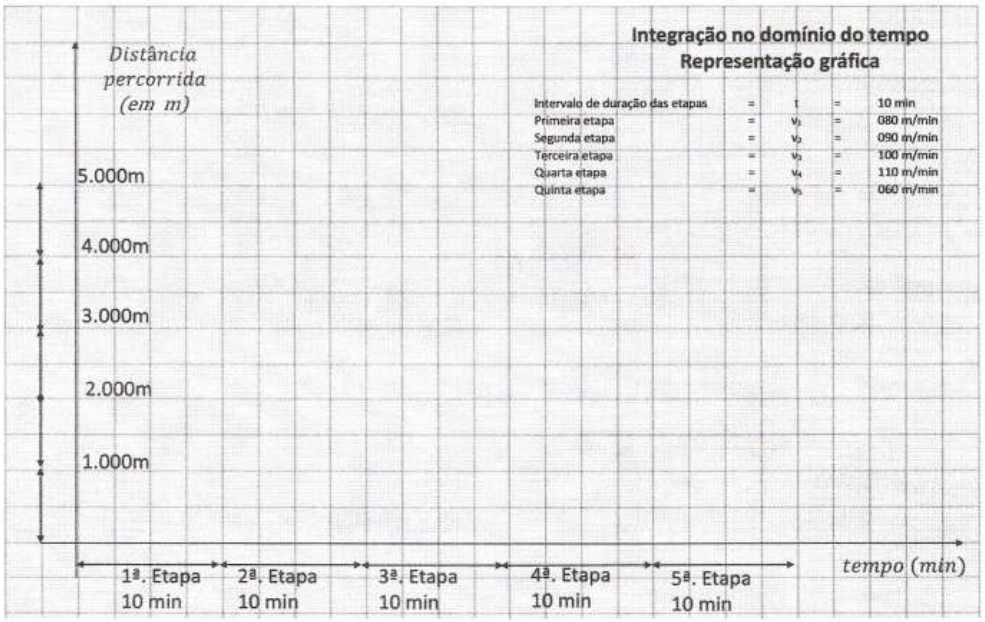
Gráfico da velocidade:
Elabore o gráfico **da velocidade** em função das etapas de treinamento.



ITERAÇÕES E INTEGRAÇÕES

Representação gráfica:

Na folha milimetrada cada centímetro (linhas mais escuras) representa 2,5 min de duração (4 cm = 10 min) no eixo horizontal do gráfico. Desenhe o gráfico que representa a **distância acumulada** percorrida, no decorrer das 5 etapas do treinamento, a duração de cada etapa é fixa é igual a 10 minutos.



Representação numérica:

Construa uma tabela indicando como varia a distância percorrida em função do tempo decorrido em cada etapa do programa de treinamento, considerando a duração de cada etapa constante e igual a 10 minutos indique a unidade de distância percorrida.

acumulado

Etapa	Velocidade	Total por etapa	Distância total percorrida
Primeira	80 m/min		
Segunda	90 m/min		
Terceira	100 m/min		
Quarta	110 m/min		
Quinta	60 m/min		
Distância total			

ITERAÇÕES E INTEGRAÇÕES

7. Iteração de diferenças no domínio do tempo
Iteração numérica
Iteração gráfica

Poupança

João está fazendo uma poupança para comprar um carro. Durante cinco meses recebe sua remuneração (salário mais comissões) e cada mês paga as despesas correspondentes. A remuneração e as despesas de João estão representadas na tabela a seguir.

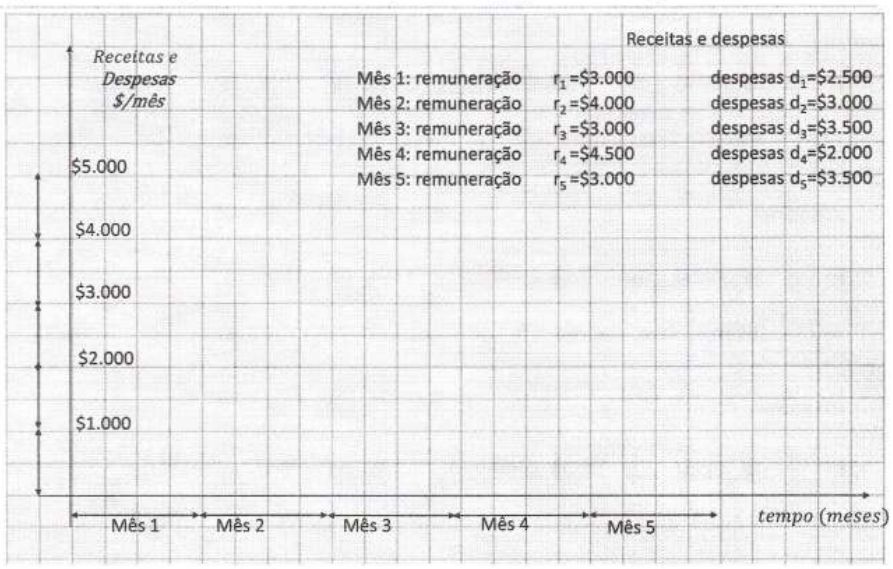
Mês 1:	remuneração	$r_1 =$	\$3.000	despesas	d_1	=	\$2.500
Mês 2:	remuneração	$r_2 =$	\$4.000	despesas	d_2	=	\$3.000
Mês 3:	remuneração	$r_3 =$	\$3.000	despesas	d_3	=	\$3.500
Mês 4:	remuneração	$r_4 =$	\$4.500	despesas	d_4	=	\$2.000
Mês 5:	remuneração	$r_5 =$	\$3.000	despesas	d_5	=	\$3.500

Calcule qual é a poupança total, que o João conseguiu acumular no período de 5 meses.

Poupança acumulada = $\sum (r_1 - d_1) + (r_2 - d_2) + (r_3 - d_3) + (r_4 - d_4) + (r_5 - d_5)$

Poupança acumulada = _____

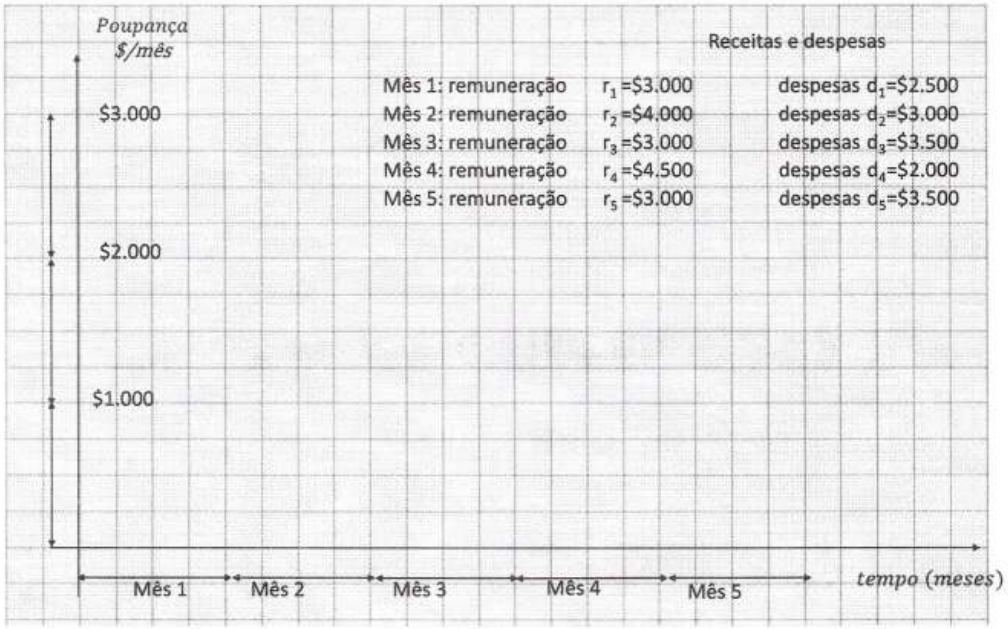
Representação gráfica:
Represente neste gráfico as **remunerações** ~~e as despesas~~ ao longo dos 5 meses.



ITERAÇÕES E INTEGRAÇÕES

Representação gráfica:

Represente neste gráfico a evolução da **poupança acumulada** ao longo dos 5 meses.



Representação numérica:

Construa uma tabela indicando como varia a posição da equipe amarela, isto é a posição ao final de cada batalha.

Mês	Remuneração	Despesas	Poupança
1			
2			
3			
4			
5			
Totais			

ITERAÇÕES E INTEGRAÇÕES

. **Integração de diferenças no domínio do tempo**
Integração numérica
Integração gráfica

Áreas

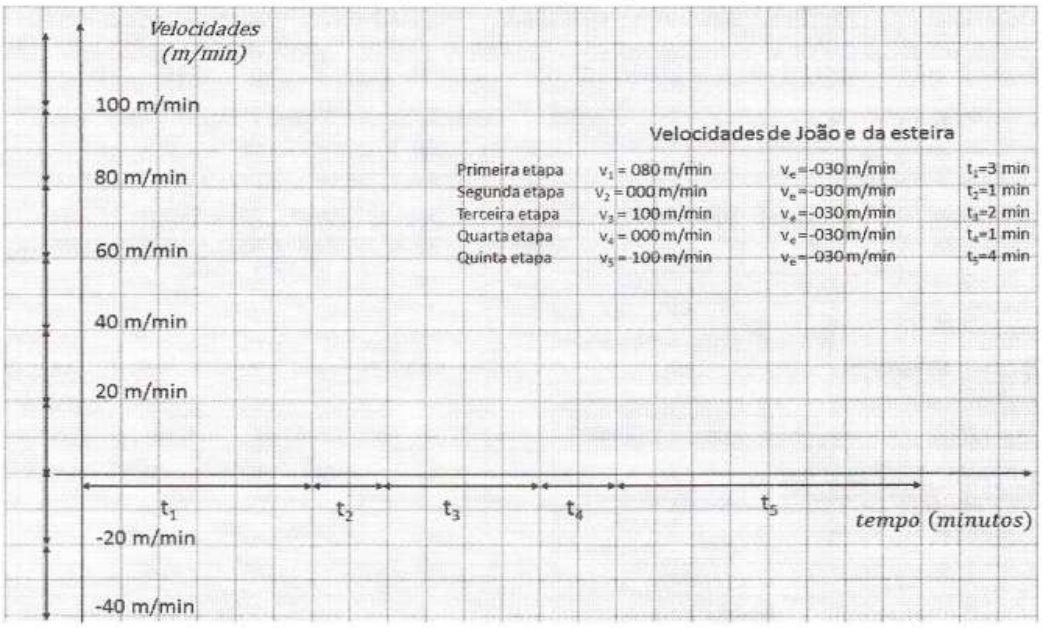
Representação numérica:
João está caminhando sobre uma esteira rolante no **sentido contrário** ao movimento da esteira. A velocidade da esteira é constante de 30 m/min. João caminha os primeiros 3 minutos a uma velocidade de 80 m/min e, em seguida descansa 1 minuto, volta a caminhar por dois minutos a uma velocidade de 100 metros por minuto durante 2 minutos e descansa mais 1 minuto, finalmente ele retoma a caminhada por mais 4 minutos com uma velocidade de 100 m/minutos.

Primeira etapa	v_1 =	080 m/min	v_e = -030 m/min	t_1	=	3 min
Segunda etapa	v_2 =	000 m/min	v_e = -030 m/min	t_2	=	1 min
Terceira etapa	v_3 =	100 m/min	v_e = -030 m/min	t_3	=	2 min
Quarta etapa	v_4 =	000 m/min	v_e = -030 m/min	t_4	=	1 min
Quinta etapa	v_5 =	100 m/min	v_e = -030 m/min	t_5	=	4 min

Calcule a que distância do ponto de partida João estará ao final da quinta etapa.

Distância do ponto de partida = D
$D = \sum (v_1 - v_e) \times t_1 + (v_2 - v_e) \times t_2 + (v_3 - v_e) \times t_3 + (v_4 - v_e) \times t_4 + (v_5 - v_e) \times t_5$
Distância do ponto de partida = _____

Gráfico da velocidade:
Elabore os gráficos das **velocidades** do João e da **esteira** em função do tempo.

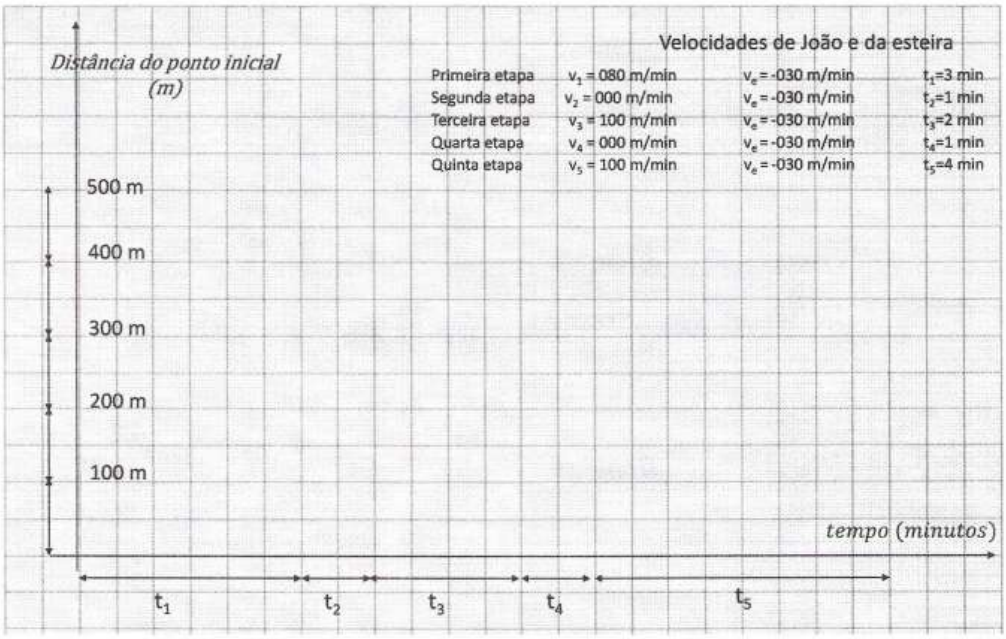


ITERAÇÕES E INTEGRAÇÕES

Representação gráfica:

Desenhe o gráfico que representa:

a. A **distância acumulada** percorrida por João em relação ao ponto de partida, em função do tempo.



Velocidades de João e da esteira

Primeira etapa	v_1 = 080 m/min	v_e = -030 m/min	t_1=3 min
Segunda etapa	v_2 = 000 m/min	v_e = -030 m/min	t_2=1 min
Terceira etapa	v_3 = 100 m/min	v_e = -030 m/min	t_3=2 min
Quarta etapa	v_4 = 000 m/min	v_e = -030 m/min	t_4=1 min
Quinta etapa	v_5 = 100 m/min	v_e = -030 m/min	t_5=4 min

Representação numérica:

Construa uma tabela para calcular a distância total percorrida por João em relação ao ponto de partida.

acumulado

Tempo	Velocidade João	Velocidade esteira	Distância João	Distância esteira	Distância por etapa	Distância final
3 min	80 m/min	-30 m/min				
1 min	00 m/min	-30 m/min				
2 min	100 m/min	-30 m/min				
1 min	00 m/min	-30 m/min				
4 min	100 m/min	-30 m/min				
	TOTAIS					

APÊNDICE B – Questionário de teste iteração e integração no domínio do tempo

NOME: _____

PROBLEMA

Na sua viagem para Disney, Joãozinho se encantou com a esteira rolante do aeroporto que vinha em **sentido contrário ao do seu destino** e decidiu brincar com o Pai. Entrou nela e, correndo, tentou acompanhar o pai que andava pelo corredor.

A velocidade da esteira era constante de 30 m/min. Joãozinho correu os primeiros 3 minutos a uma velocidade em relação à esteira de 80 m/min e, em seguida descansou 1 minuto, voltou a correr por dois minutos a uma velocidade de 100 metros por minuto durante 2 minutos e descansou mais 1 minuto, finalmente ele retomou a corrida por mais 4 minutos com uma velocidade de 100 m/minutos, quando alcança o Pai e o fim da esteira.

Primeira etapa	v_1 =	080 m/min	v_e = -030 m/min	t_1	=	3 min
Segunda etapa	v_2 =	000 m/min	v_e = -030 m/min	t_2	=	1 min
Terceira etapa	v_3 =	100 m/min	v_e = -030 m/min	t_3	=	2 min
Quarta etapa	v_4 =	000 m/min	v_e = -030 m/min	t_4	=	1 min
Quinta etapa	v_5 =	100 m/min	v_e = -030 m/min	t_5	=	4 min

QUESTÃO 1 (REPRESENTAÇÃO NUMÉRICA ITERAÇÃO)

Calcule a que distância do ponto de partida (isto é o comprimento da esteira) João chegou ao final da quinta etapa. Descreva os cálculos no quadrado abaixo.

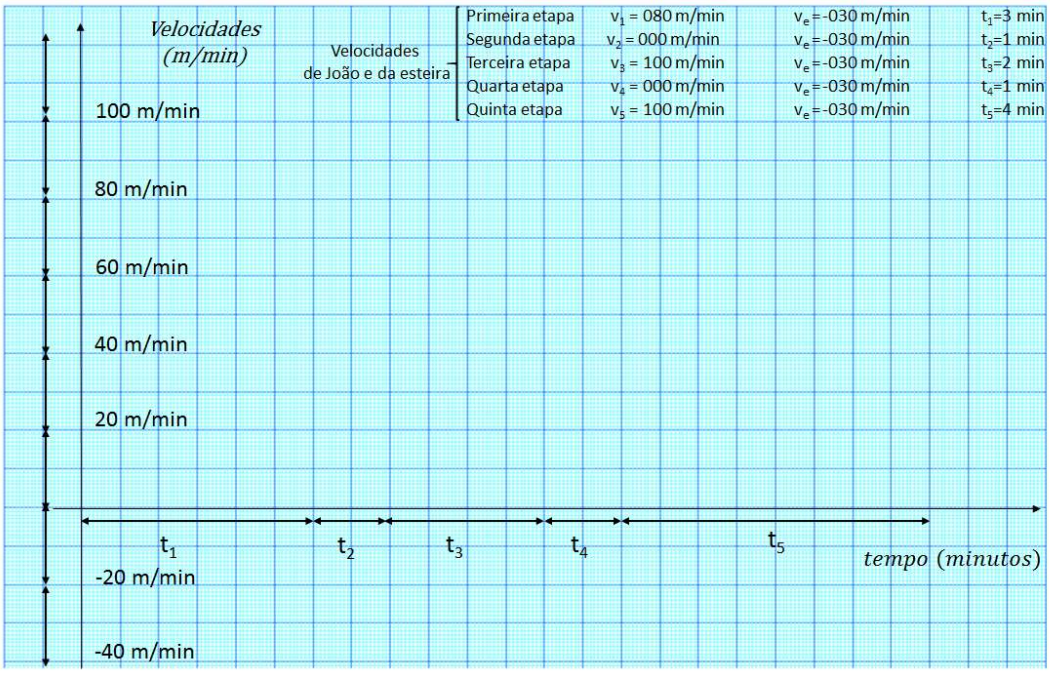
QUESTÃO 2 (REPRESENTAÇÃO GRÁFICA FUNÇÃO DIFERENÇA)

Represente primeiramente no gráfico abaixo:

a) A velocidade de Joãozinho em relação a esteira.
b) Represente a velocidade da esteira em relação ao solo.

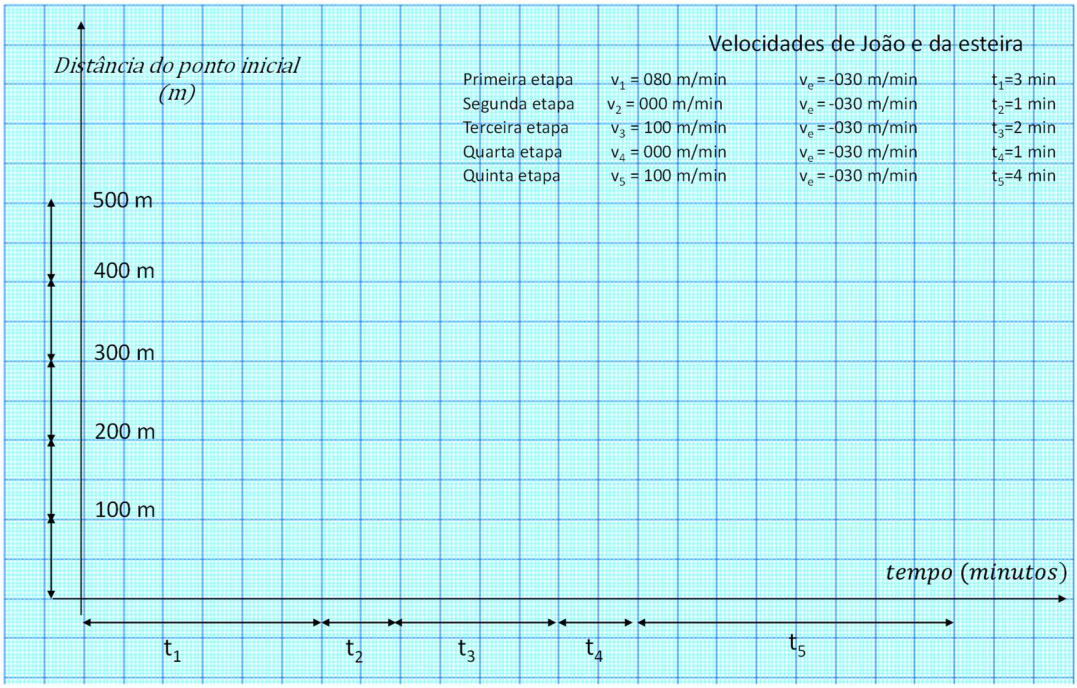
Depois de ter representado as velocidades dos itens a e b

a) Represente, agora, a velocidade de Joãozinho em relação ao solo.



QUESTÃO 3 (INTEGRAÇÃO GRÁFICA)

Dados os gráficos das velocidades de Joãozinho em relação a esteira e o da esteira em relação ao solo, represente a distância percorrida por Joãozinho em relação ao ponto de partida, em função do tempo.



APÊNDICE C – Apresentação do PBL Gestão de Recursos

ADM FGV

Planejamento e Gestão de Recursos

Prof. Jorge Ramón

1

Gestão de capacidade e demanda

2

Gestão de capacidade e demanda

Serviço de abastecimento hídrico da região metropolitana da cidade de São Paulo

Monitoramento, controle e iniciativas de preservação

Prof. Jorge Ramón 3

Gestão de capacidade e demanda

Aprendizagem baseada em problemas

Dois trabalhos

- Grupos trabalho 1
- Grupos trabalho 2

Prof. Jorge Ramón 4

Gestão de capacidade e demanda

Apresentação do problema

Cada grupo deverá:

1. Realizar uma análise profunda da crise hídrica que comprometeu o abastecimento de água potável da Cidade de São Paulo.
2. Propor políticas e mecanismos de controle para evitar que o problema impacte o abastecimento da cidade.

OBS. Os grupos competirão entre si para verificar qual apresenta a melhor análise e a melhor política de atuação para solucionar o problema que será proposto.

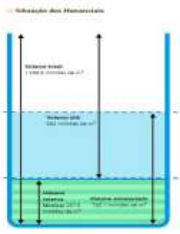
Prof. Jorge Ramón 5

1- Trabalho de monitoração e controle da capacidade

1. Determinar qual deve ser o nível seguro que o sistema Cantareira deve manter para que uma estiagem, equivalente à que foi enfrentada, não coloque em risco o abastecimento da cidade.

Prof. Jorge Ramón 6

Formulação do Problema



O nível do reservatório da Cantareira deverá ser tal que:

- Seja suficiente para abastecer a cidade de São Paulo diante de uma estiagem **equivalente à de 2014**, com duração de **dois anos;**
- O volume de reserva técnica (volume morto) **não poderá ser usado.**

Trabalho de Gestão de demanda- 2

2. Identificar e caracterizar as principais categorias de consumo e propor planos de gestão de demanda que minimizem o impacto econômico e se adaptem aos ciclos de estiagem e chuva.

Questões intermediárias

PROBLEMA 1

1. Qual foi o fluxo de entrada do sistema em 2014?
2. Qual foi o fluxo de saída em 2014?
3. Qual foi o "fluxo líquido" = afluente - efluente (entradas menos saídas) ao longo de 2014?
4. Qual foi a variação de volume (em milhões de m^3) da represa?
5. Como calcular a variação do volume a partir do fluxo líquido?

Questões complementares

1. Como evoluiu o fluxo de entrada ao longo dos últimos anos?
2. Como evoluiu o fluxo de saída consumo ao longo dos últimos anos?

Questões intermediárias

PROBLEMA 2

1. Quais as áreas que consomem mais água?
2. Por atividade econômica?
3. Por região?
4. Que alternativas existem?
5. Como incentivar o uso dessas alternativas?
6. Como reduzir o consumo

Questões complementares

1. Como evoluiu o fluxo de entrada ao longo dos últimos anos?
2. Como evoluiu o fluxo de saída consumo ao longo dos últimos anos?

Sugestões para realizar o trabalho

Sugestões

1. Formule o que precisa ser feito
2. Distribuam as tarefas com prazos e responsáveis
3. Marquem reuniões (podem ser virtuais) para acompanhar entregas.
4. Formulem dúvidas solicitação de ajuda para o orientador.
5. Repitam os passos 1 a 4 até concluir.