

## Aplicação dos princípios da teoria das restrições e simulação computacional no processo de pinturas de cadeiras em uma indústria moveleira.

Alencar Servat (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) [alencarservat@utfpr.edu.br](mailto:alencarservat@utfpr.edu.br)  
Fabiana Costa de Araujo Schutz (UTFPR) [fabianaschutz@utfpr.edu.br](mailto:fabianaschutz@utfpr.edu.br)  
Camila Cielo (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) [camila\\_cielo@outlook.com](mailto:camila_cielo@outlook.com)  
Lucas Duarte (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) [lucas.2012@alunos.utfpr.edu.br](mailto:lucas.2012@alunos.utfpr.edu.br)  
José Ailton Azevedo dos Santos (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) [airton@utfpr.edu.br](mailto:airton@utfpr.edu.br)

### Resumo:

Em tempos de variação econômica, crises políticas e insatisfações mercadológicas, é de grande importância que as empresas busquem por melhorias constantes em seus processos de produção. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo analisar, através princípios da teoria das restrições e de técnicas de simulação discreta (DES), o processo de pintura de uma indústria moveleira. Um modelo do tipo dinâmico, discreto e estocástico foi implementado no software de simulação Cloudes. De um modo geral, os resultados evidenciaram que com a aplicação, dos princípios da teoria das restrições e de técnicas de simulação computacional, pode-se aumentar a produção de cadeiras em 48,27%.

**Palavras chave:** Simulação, Cloudes, Teoria das restrições, Indústria moveleira.

## Application of the principles of constraint theory and computational simulation in the process of painting chairs in a furniture industry

### Abstract:

In times of economic variation, political crises and market dissatisfaction, it is of great importance that companies seek constant improvements in their production processes. In this context, the objective of this work was to analyze, through principles of the theory of restrictions and techniques of discrete simulation (DES), the process of painting of a furniture industry. A dynamic, discrete and stochastic type model was implemented in the Cloudes simulation software. In general, the results showed that with the application of the principles of constraint theory and computational simulation techniques, the production of chairs can be increased by 48.27%.

**Key-words:** Simulation, Cloudes, Theory of constraints, Furniture industry.

### 1. Introdução

No Brasil, a indústria moveleira é fragmentada, intensiva em mão-de-obra, com pouca participação no valor agregado e verticalizada. Está localizada com mais intensidade nas regiões Sul e Sudeste do país e teve um avanço expressivo durante a década de 1990, após um grande investimento na aquisição de máquinas e equipamentos importados, que proporcionaram um aumento expressivo na produção e uma padronização do produto em nível internacional (LOUREIRO, 2011).

Atualmente, o Brasil se enquadra como um dos maiores produtores de móveis e possui destaque pela sua competitividade na fabricação dos mesmos. Tendo, devido à enorme oferta de madeiras certificadas ou reflorestadas, uma excelente base para a produção nas indústrias de móveis (SILVA, 2017).

De acordo com Gorini (1998) as indústrias moveleiras ganham destaque devido a pequena estrutura de suas empresas, sendo que as pequenas e microempresas representam 88% do total de indústrias, 33% do total de empregos e 16% do valor bruto da produção industrial.

A sobrevivência das empresas num mercado altamente competitivo exige um comprometimento com o atendimento às especificações, satisfação das necessidades dos clientes e melhoria contínua dos processos (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002). Na área moveleira, trabalha-se cada vez mais com entregas mais frequentes e tempos de produção mais reduzidos. Assim, o processo de pintura de cadeiras tem que ser organizado de modo que as perdas sejam mínimas, tanto de tempo como de produto. Para obter este resultado, diversas técnicas são disponibilizadas aos gestores deste processo, dentre elas tem-se: a Teoria das Restrições e a Simulação Computacional (PRADO, 2010).

A Teoria das Restrições é composta por um conjunto de princípios e conceitos idealizados pelo físico israelense Eliyahu Goldratt, nos anos 1980, conhecido como Teoria das Restrições (TOC – *Theory of Constraints*), um método novo de administração da produção. O sucesso de sua teoria em algumas empresas fez com que outras se interessassem em aprender a técnica. Assim Goldratt decidiu repassar o seu conhecimento e escreveu um livro contando sobre sua teoria, chamado de “*The Goal*” ou em português A Meta (GOLDRATT; JEFF, 1997).

A TOC se concentra na utilização e aumento da capacidade do gargalo da produção, responsável pelos resultados de todo o sistema produtivo (ALVES; SANTOS; SCHMIDT, 2014). Nesse aspecto, a sua utilização serve de apoio para a determinação de cenários a serem criados no ambiente de simulação computacional, orientando à obtenção do resultado esperado.

Para Harrell (2000), a simulação computacional tem grande importância no processo de manufatura, pois se destaca como uma boa ferramenta de planejamento gerencial, podendo contribuir para a empresa de diversas formas, tais como: na análise de métodos, no controle da produção, na previsão de gastos, no planejamento do *supply chain*, no controle sobre estoques em processo, entre outras tantas atividades.

A simulação computacional é uma ferramenta que auxilia a tomada de decisões, devido ao alto grau de eficácia que esta técnica de gestão proporciona. Segundo Prado (2009), é um modo de imitar como seria o funcionamento de um sistema real. Com o auxílio de programas de computador é possível construir modelos onde se pode visualizar na tela, tal como um filme, o funcionamento do sistema estudado.

Considerando os fatores evidenciados nesta seção, percebe-se a importância desta pesquisa para uma futura proposta de melhoria no processo a ser estudado. O interesse por este trabalho está totalmente ligado a conquista de conhecimento e colaboração para que a empresa tenha uma melhor utilização e gerência dos recursos disponíveis.

Neste trabalho foi utilizado como plataforma de simulação o software de simulação Cloudes. Softwares comerciais, para simulação discreta, como o Arena e o Anylogic possuem requisitos de hardware para funcionar, além de licenças muito caras. Cloudes é um software

livre que fornece aos usuários a possibilidade de construir um modelo, de simulação discreta, usando um navegador (CLOUDES, 2014).

Neste contexto, este estudo teve como objetivo propor uma análise da aplicação dos princípios da teoria das restrições e da simulação computacional na gestão do processo de pintura de cadeiras em uma indústria moveleira.

## 2. Metodologia

Essa trabalho utilizou dois métodos de pesquisa: o estudo de caso, para conhecer o fenômeno no contexto real de forma ampla e detalhada (YIN, 2001), e a modelagem/simulação, que aborda quantitativamente o problema e busca controlar as variáveis gerenciais em estudo.

A empresa:

A empresa em estudo atua no ramo moveleiro e está localizada na região oeste do Paraná, na cidade de Medianeira. Produz móveis para atender tanto o mercado nacional quanto o mercado internacional. Comercializa móveis com altíssimo padrão de qualidade e design exclusivo.

A empresa teve grande importância para a colonização, desenvolvimento e geração de renda para a região em que se localiza. Sendo na época uma das primeiras indústrias a se fixar na cidade onde se instalou.

A partir da década de 90 a empresa começou a produzir e comercializar móveis, com uma sofisticada linha de salas de jantar voltada para atender tanto o mercado brasileiro quanto o exigente mercado internacional. Deste modo a empresa se adequou a realidade do mercado, conquistando seu lugar em meio a grande competitividade do setor.

Processo de fabricação:

O processo, em estudo, inicia com a chegada das cadeiras (Figura 1) no processo de tingimento. Neste processo as cadeiras são tingidas através de uma pistola manual. Observa-se que a empresa possui duas cabines de pintura, sendo, no momento, utilizada apenas uma.

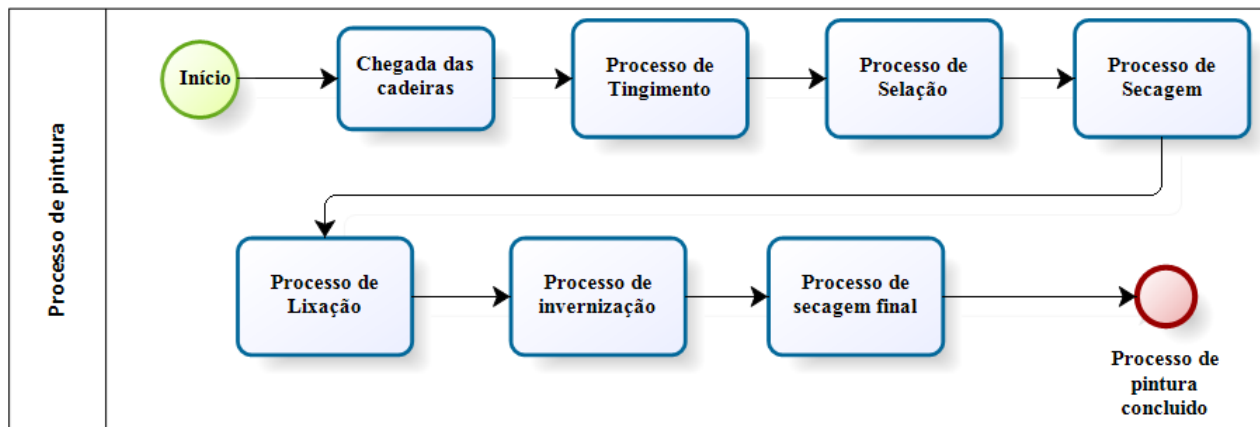
Depois de tingidas as cadeiras passam pelo processo de selagem. Neste processo recebem um selador, também através de pistola manual. Na sequência as cadeiras passam pelos processos de secagem e lixação. Na lixação são realizadas ações corretivas. Finalmente, as cadeiras passam pelos processos de aplicação de verniz e secagem. O verniz é aplicado para dar proteção e resistência ao produto.



Fonte: O Autor

Figura 1 – Cadeira produzida pela empresa

Atualmente, o setor de pintura conta com 7 funcionários: 4 no processo de lixa, 1 no processo de tingimento, 1 no processo de selagem e 1 no processo de aplicação de verniz. Na Figura 2 apresenta-se o fluxograma do sistema em estudo.



Fonte: O Autor

Figura 2 – Fluxograma do processo de pintura

Número de Replicações:

Neste trabalho, o número de replicações ( $n^*$ ) foi obtido através da Equação (1) (MONTGOMERY, 2005):

$$n^* = n \times \left(\frac{h}{h^*}\right)^2 \quad (1)$$

onde:

n: número de replicações já realizadas;

h: semi-intervalo de confiança já obtido e;

h\*: semi-intervalo de confiança desejado.

Tamanho da Amostra:

O tamanho de cada uma das amostras, cronometradas neste trabalho, foi obtida, para um nível de confiança de 95%, através da Equação (2) (MARRÔCO, 2007):

$$n_A = \left( \frac{Z_{\alpha/2} \times S}{E} \right)^2 \quad (2)$$

onde:

$n_A$ : número de indivíduos da amostra;

$Z_{\alpha/2}$ : valor crítico que corresponde ao grau de confiança desejado;

S: desvio padrão e;

E: erro máximo estimado.

Etapas. Na Tabela 1 apresentam-se as etapas realizadas neste trabalho de simulação.

A metodologia proposta pôde ser aplicada através da visita a indústria. Inicialmente fez-se a observação do ambiente de trabalho, onde foi possível avaliar a dinâmica de como as atividades são desenvolvidas e a ordem dos procedimentos fabris. Diante desta observação, então foi possível iniciar a coleta de informações e dados necessários à pesquisa.

O procedimento de coletas de dados se deu por meio de entrevistas, arquivos fotográficos e também por medições que foram essenciais para análise de simulação.

| ETAPAS         | AÇÃO                                             |
|----------------|--------------------------------------------------|
| Primeira etapa | Definição da empresa                             |
| Segunda etapa  | Realização da visita à empresa e coleta de dados |
| Terceira etapa | Construção do modelo computacional               |
| Quarta etapa   | Realização das simulações computacionais         |
| Quinta etapa   | Análise dos resultados de simulação              |

Fonte: O Autor

Tabela 1 – Etapas realizadas

### 3. Resultados e discussão

Inicialmente, identificaram-se as distribuições probabilísticas referentes a cada etapa do processo, por meio da ferramenta *input analyzer* do software ARENA. Elas são de extrema importância para a simulação gerar resultados bem próximos da realidade, pois conseguem absorver a essência de suas operações, diferentemente de realizar uma média simples com os

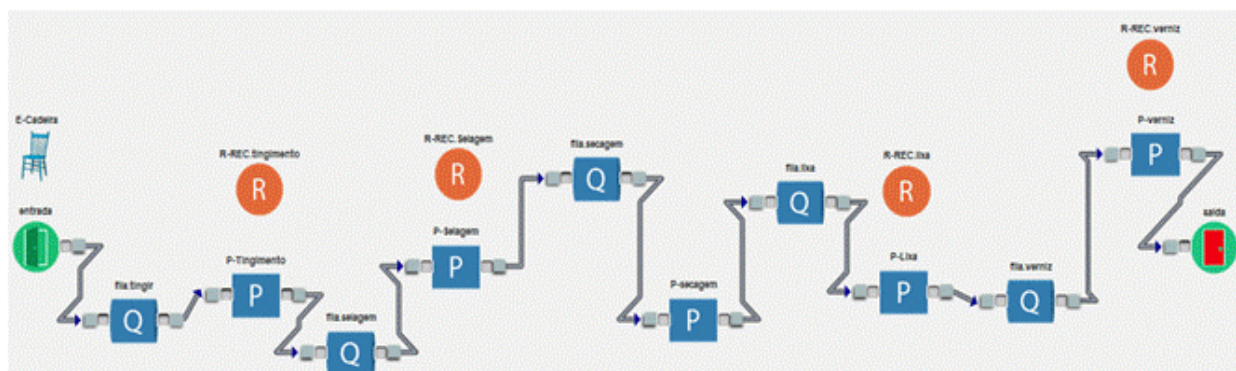
dados, que podem apresentar um desvio padrão muito elevado o que comprometeria a acurácia dos resultados da simulação. Os tempos coletados no processo de pintura foram: Tempos de Tingimento da Cadeira (TTC); Tempo de Secagem (30 minutos); Tempos de Selagem (TSL); Tempos de Lixa (TL) e Tempos de Verniz (TV). Na Tabela 2 encontram-se as distribuições de probabilidade utilizadas neste trabalho.

| Itens | Distribuição        |
|-------|---------------------|
| TTC   | UNIF(122,152) s     |
| TSL   | TRIA(101,118,132) s |
| TL    | UNIF(243,491) s     |
| TV    | UNIF(55,124) s      |

Fonte: O Autor

Tabela 2 – Distribuições de probabilidade

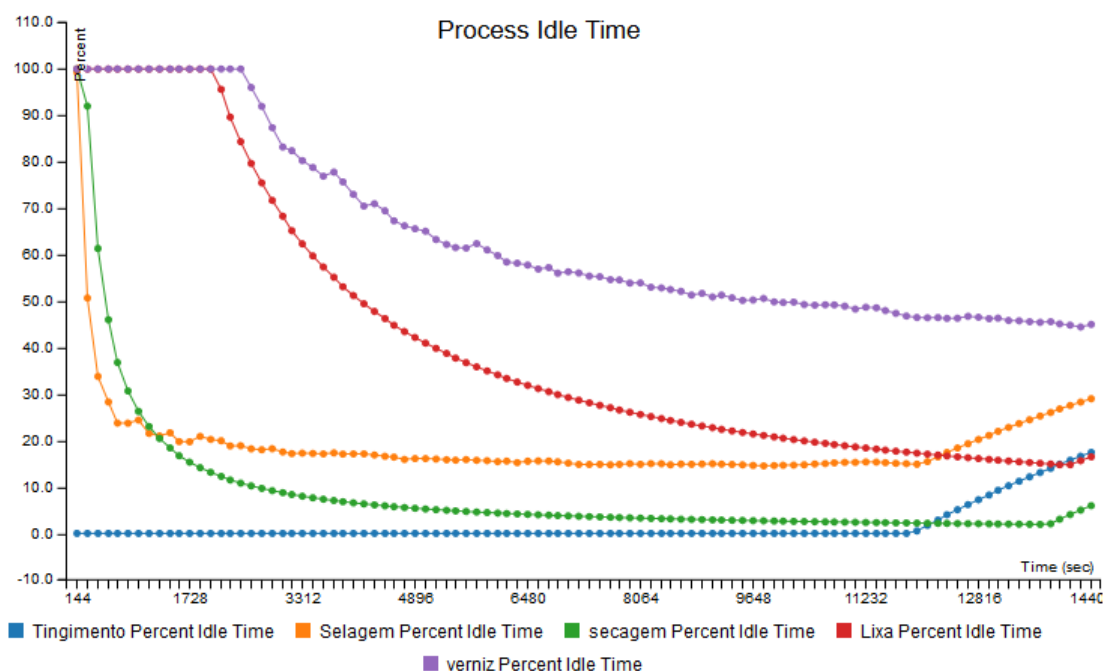
Com as distribuições de probabilidade definidas, foi possível simular o processo de pintura. Como resultado obteve-se um total de 87 cadeiras processadas num período de 4 horas, ou seja, meio turno de trabalho. A Figura 3 apresenta o modelo de simulação utilizado (Modelo 1).



Fonte: O Autor

Figura 3 – Modelo de Simulação 1 – Cloudes

Visando aumentar a produtividade do processo realizou-se uma análise minuciosa dos gráficos gerados pela simulação. No gráfico de tempo de ociosidade do processo, apresentado na Figura 4, constatou-se que os funcionários do processo de lixa e verniz ficavam muito tempo ociosos.



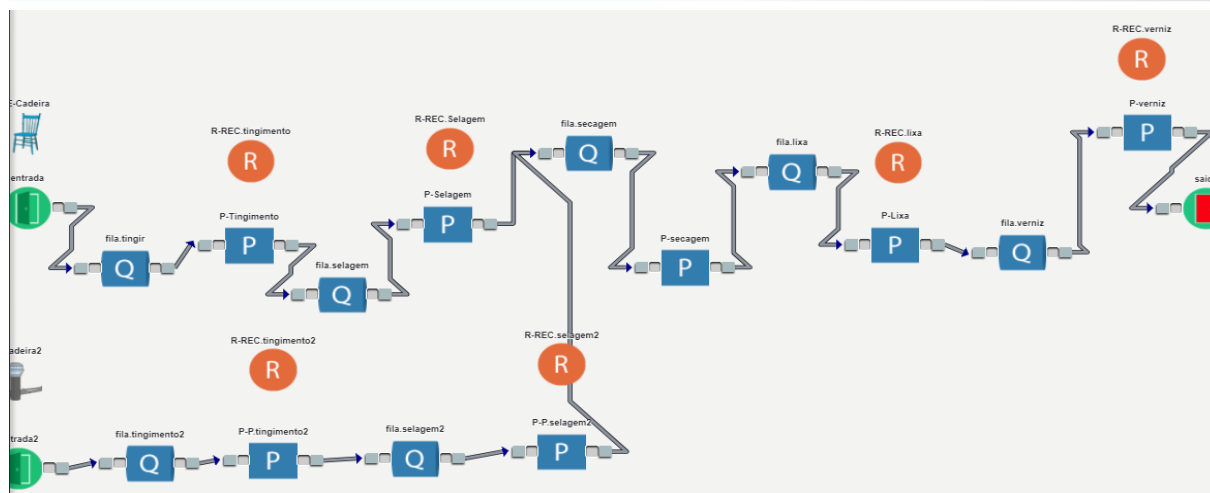
Fonte: O Autor

Figura 4 – Gráfico do tempo inativo, em porcentagem, do processo de pintura - Cloudes

Depois de identificada a restrição, todos os esforços foram direcionados para diminuir o tempo de ociosidade do processo de lixa e verniz. Para avaliar as alternativas de redução deste tempo a simulação computacional foi refeita inúmeras vezes, realocando os funcionários de diferentes formas possíveis, inclusive em processos distintos do qual estavam inicialmente.

A distribuição de funcionários que obteve o maior número de cadeiras processadas e, consequentemente, o menor tempo de ociosidade entre os funcionários foi realizada da seguinte maneira: Antes da primeira cadeira secar completamente, 3 funcionários do setor de lixa deverão assumir o processo de tingimento, enquanto 1 funcionário do mesmo setor e 1 do setor de verniz deverão assumir a selagem. Quando a primeira cadeira secar por completo, um funcionário alocado no processo de tingimento volta ao seu posto de origem para lixar a cadeira.

O mesmo esquema é feito para as duas próximas cadeiras. Quando a quarta cadeira estiver seca o funcionário que foi dirigido para a selagem volta para o processo de lixa. O último funcionário alocado na selagem volta para o processo de aplicação de verniz, quando a primeira cadeira for lixada completamente. Esta distribuição foi implementada no modelo apresentado na Figura 5 (Modelo 2).



Fonte: O Autor

Figura 5 – Modelo de Simulação 2 – Cloudes

Após efetuar a simulação, nessas condições, diminuiu-se o tempo ocioso dos funcionários do setor de lixa e verniz chegando a um total de 129 cadeiras pintadas, durante o mesmo período de tempo de 4 horas.

#### 4. Considerações finais

Neste trabalho apresentou-se a metodologia utilizada na implementação de um modelo computacional usado para simular o processo de pintura de cadeiras em uma indústria moveleira.

Constatou-se que o sistema de pintura de cadeiras possui uma restrição, pois enquanto o processo de secagem é realizado, os funcionários dos processos de lixa e verniz ficavam ociosos, acarretando a não utilização da capacidade produtiva total do sistema.

Diante disso, uma possível solução seria a retribuições de tarefas para os funcionários do setor de lixa e verniz, atribuindo-os obrigações enquanto estiverem ociosos. Assim foi obtido como resultado um acréscimo de 48,27% da produção, não sendo necessária a contratação de novos funcionários e aquisição de material e máquinas.

Entretanto, para fins gerenciais torna-se importante analisar os sistemas produtivos e seus gargalos através da simulação computacional resultando na determinação de parâmetros de produção, como número de funcionários, eficiência, e produtividade, parâmetros estes que quando definidos inadequadamente podem acarretar em resultados indesejados.

O assunto não se esgota, com a realização deste trabalho, devendo avançar, a partir do desenvolvimento de um estudo relativo ao comportamento da restrição no sistema. Segundo a teoria das restrições, uma vez que ocorre uma melhoria no gargalo, as restrições podem mudar de lugar no sistema.

Conclui-se que este trabalho foi de grande valia na aprendizagem e desenvolvimento profissional dos alunos envolvidos, podendo ser reaplicado em diferentes sistemas produtivos, pois o software utilizado juntamente com a teoria das restrições são ferramentas de fácil acesso até mesmo para empresas de pequeno e médio porte.

## Referências

- ALVES, R.; SANTOS, J. A. A.; SCHMIDT, C. A. P. *Aplicação dos princípios da teoria das restrições e de técnicas de simulação na gestão da dinâmica operacional de um pequeno restaurante: um estudo de caso*. Revista Espacios, v. 35, p. 21, 2014.
- CLOUDES *Cloudes User Manual* v. 3.14. Viginia: Modeling, Analysis and Simulation Center, 2014.
- GOLDRATT, E. M.; JEFF, C. A Meta. São Paulo: Educator Editora, 1997.
- GORINI, A.P.F. *Panorama do Setor Moveleiro no Brasil, com Ênfase na Competitividade Externa a Partir do Desenvolvimento da Cadeia Industrial de Produtos Sólidos de Madeira*. Rio de Janeiro: BNDES, set. 1998.
- HARREL, C. R. *Simulation Using ProModel®*. McGraw-Hill, 2000.
- LOUREIRO A. B. *Planejamento do arranjo físico em uma indústria moveleira*. UFES, 2011.
- MONTGOMERY, D. C. *Design and Analysis of Experiments*. New York: Wiley, 2005.
- MORROCO, J. *Análise estatística de dados – com utilização do SPSS*. Lisboa. Sílabo, 2003
- PRADO, Darci Santos do. *Teoria da Filas e da Simulação*. 4. ed. Nova Lima: Indgtects, 2009. 127 p.
- PRADO, D. *Usando o ARENA em simulação*. v.3, 4ed. Nova Lima: INDG - Tecnologia e Serviços LTDA, 2010.
- SATOR, F. .; SANTOS, J. A. A.; SCHMIDT, C. A. P. *Teoria das restrições e simulação aplicadas no gerenciamento de demanda de uma unidade de pronto atendimento*. Revista Espacios, v. 35, p.19, 2014.
- SILVA, T. R. P. *Relatório Brasil Móveis 2016 aponta dados do setor moveleiro*. Emobi, 2017. Acessado em 14/07/2017.
- SLACK, N; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da produção*. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2002
- YIN, R. K. *Estudo de caso: planejamento e métodos*. Porto Alegre: Bookman, 2001.