

## AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE PRODUTIVA DE UMA CÉLULA DE CONTROLE DE QUALIDADE POR MEIO DA SIMULAÇÃO

**Mona Liza Moura de Oliveira**

Universidade Federal de Itajubá

Av. BPS – Nº 1303 – Bairro Pinheirinho – 37500-903 - Itajubá - MG

[monaoli@yahoo.com.br](mailto:monaoli@yahoo.com.br)

**Alexandre Ferreira de Pinho**

Universidade Federal de Itajubá

Av. BPS – Nº 1303 – Bairro Pinheirinho – 37500-903 - Itajubá - MG

[pinho@unifei.edu.br](mailto:pinho@unifei.edu.br)

**Josiane Lima**

Universidade Federal de Itajubá

Av. BPS – Nº 1303 – Bairro Pinheirinho – 37500-903 - Itajubá - MG

[jpalmalima@gmail.com](mailto:jpalmalima@gmail.com)

### RESUMO

A fim de se manterem competitivas no mercado, empresas têm investido cada vez mais em alternativas que buscam aumentar o nível de conhecimento dos seus processos. Um ponto importante nesta busca é compreender a real capacidade produtiva, uma vez que a análise incorreta desta capacidade acarreta em problemas como não atendimento da demanda do cliente e subestimar ou superestimar os recursos humanos necessários.

Neste contexto, a empresa analisada apresentou uma preocupação de não conseguir atender seus clientes caso houvesse variações na demanda. Esta dúvida surgiu do desconhecimento da real capacidade de produção e do número de recursos humanos de uma célula de controle de qualidade.

Construiu-se então um modelo de simulação da célula para representar um ambiente virtual, livre de custos e riscos, o comportamento desta e assim conhecer sua real capacidade. Construíram-se ainda diversos cenários com o objetivo de conhecer o comportamento da célula frente a diversas mudanças.

**PALAVRAS CHAVE. Modelagem, Simulação, Capacidade.**

**Area principal: Simulação**

### ABSTRACT

In order to remain competitive in the market, companies have increasingly invested in alternatives that aim to improve the level of knowledge of their processes. An important point in this pursuit is to understand the real productive capacity, once the incorrect analysis of this capacity leads to problems such as non-compliance of customer demand and underestimate or overestimate the necessary human resources.

In this context, the company analyzed presented a concern not to be able to meet customers need if there were variations in demand. This question arose from the lack of knowledge of the real production capacity and the number of human resources of a quality control cell.

Therefore built up a simulation model of the cell to represent in the virtual environment, free of cost and risk, the behavior of its real capacity. Built are still several scenarios in order to understand the behavior of the cell against several changes.

**KEYWORDS. Modelig. Simulation. Capacity.**

**Main area: Simulation**

## 1.Introdução:

Razões como crescente globalização, acelerada evolução dos meios de comunicação, universalização da informação e diminuição do ciclo de vida dos produtos têm levado as empresas a focarem seus recursos em estratégias que possibilitem a sobrevivência em um mercado cada vez mais competitivo.

Diversas estratégias têm sido traçadas pelas organizações a fim de que as mesmas se mantenham competitivas neste mercado conturbado. Uma destas estratégias está relacionada a uma maior compreensão de como funcionam os processos dentro das próprias organizações. Uma vez conhecidos seus processos, a empresa tem uma base mais sólida para futuras tomadas de decisão, e consegue ainda, visualizar como seu sistema irá reagir a mudanças, como por exemplo, oscilações na demanda, redução ou aumento da mão de obra, automatização do processo, entre outras tantas possíveis.

Para Damji (2007) um modelo do processo, que representa uma verdadeira reflexão dos processos de uma empresa, é essencial para realização de melhorias no processo e para o desenvolvimento de sistemas de informações. Estas melhorias tem se tornado uma forma importante de garantir mudanças na estrutura e funcionamento das organizações a fim de criar uma empresa melhor, mais competitiva e de sucesso. De acordo com Muehlen Zur e Indulska (2009) as organizações estão cada vez mais interessadas em entender, gerenciar e melhorar seu portfólio de processos.

Muitas organizações, a fim de conhecer e gerenciar de uma melhor forma os seus processos, têm sido motivadas a fazer investimentos substanciais em iniciativas de modelagem destes. Esta situação, por sua vez, tem desencadeado significantes trabalhos acadêmicos e comerciais com o objetivo de encontrar soluções para modelagem dos processos (ROSEMANN *et al.*, 2010).

Cabe ressaltar que um ponto importante dentro desta questão de se aumentar o conhecimento dos processos por parte das organizações a fim de que estas se mantenham competitivas é a compreensão de sua real capacidade produtiva, uma vez que é esta capacidade quem define se o processo vai conseguir atender a demanda emitida pelos clientes, sejam eles os clientes finais ou clientes internos. A análise incorreta desta capacidade produtiva pode fazer com que as organizações acabem por superestimar ou subestimar tanto a saída de produtos quanto os recursos humanos utilizados em seus processos.

A simulação computacional tem se tornado uma ferramenta bastante conhecida e utilizada na tentativa das empresas em compreender melhor o funcionamento de seus processos. Os sistemas reais geralmente apresentam uma maior complexidade devido a sua natureza dinâmica e aleatória e modelos de simulação conseguem capturar com mais fidelidade essas características, procurando repetir em um computador o mesmo comportamento que o sistema apresentaria quando submetido às mesmas condições de contorno. O modelo de simulação é utilizado, particularmente, como uma ferramenta para se obter respostas a sentenças do tipo: “o que ocorre se...”. (CHWIF e MEDINA, 2006) Pode-se então aproveitar das vantagens oferecidas pela simulação computacional para analisar a capacidade real produtiva de uma célula sob diversas condições e ainda verificar os recursos humanos utilizados estão sendo super ou subestimados?

O objetivo do presente artigo é construir um modelo computacional através da técnica de simulação a eventos discretos a fim de se conhecer qual a verdadeira capacidade produtiva de uma célula de controle de qualidade de uma empresa de alta tecnologia e quais as flutuações desta capacidade frente a diversas mudanças. Pretende-se verificar ainda se os recursos humanos utilizados nesta célula estão subestimados, uma vez que a empresa em questão pretende aumentar a quantidade de colaboradores por receio de não atingir a demanda dos próximos períodos. Para atingir o objetivo citado, utilizou-se do método de pesquisa Simulação.

O presente artigo se desenvolve da seguinte forma: primeiramente será apresentado a justificativa de escolha do método de pesquisa e em seguida será apresentada uma breve revisão teórica dos assuntos de maior importância para o desenvolvimento da pesquisa. Logo após, ira se apresentar

a aplicação do método escolhido Modelagem e Simulação no objeto de estudo e, por fim, as conclusões serão apresentadas.

## 2.Método de Pesquisa

Toda pesquisa tem um caráter pragmático sendo um processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico. O objetivo fundamental da pesquisa é descobrir respostas para problemas mediante o emprego de procedimentos científicos (GIL, 1999).

Segundo Jung (2003), a execução de uma pesquisa depende das técnicas e procedimentos a serem adotados para a coleta e análise dos dados, sua natureza e objetivos requerem ferramentas adequadas para a resolução dos problemas de pesquisa. Isso significa que existem vários tipos de pesquisas que são adotados em função das necessidades práticas de execução.

Em relação aos procedimentos de execução desta pesquisa, pode-se classificar este projeto como Modelagem e Simulação, uma vez que segundo Bertrand e Fransoo (2002), este método deve ser usado quando se deseja prever o efeito de mudanças no sistema ou avaliar seu desempenho ou comportamento. É utilizado na resolução de problemas reais, durante o gerenciamento de operações, que envolve processos de projeto, planejamento, controle e operação, seja em indústrias de manufatura ou de serviços.

Em metodologias de pesquisas envolvendo a Modelagem e Simulação, existem na literatura diversos modelos com propostas de desenvolvimento deste método de pesquisa. Um destes modelos é o modelo de pesquisa desenvolvido por Mitroff *et al.* (1974), mostrado na Figura 1.

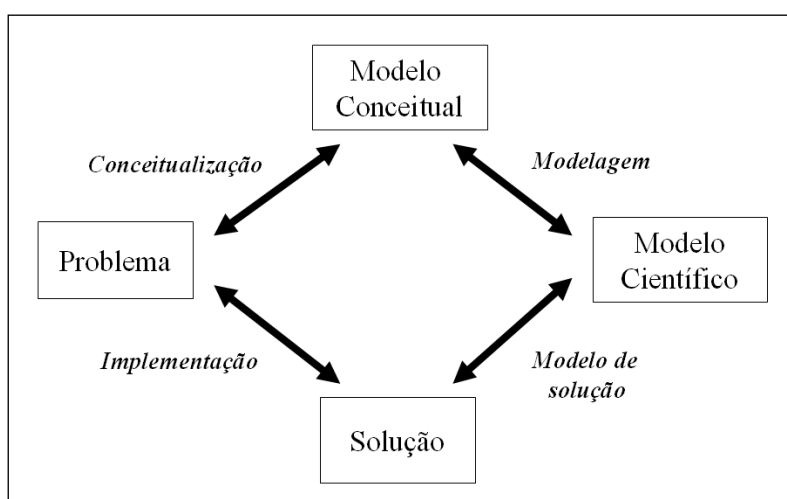


Figura 1 – Modelo de Pesquisa para Modelagem e Simulação

Fonte: Adaptado de Mitroff *et al.* (1974)

No ciclo de Mitroff *et al.* (1974) na fase de Conceitualização, o pesquisador desenvolve um modelo conceitual do problema que gostaria de estudar. Definem-se, nesta fase, as variáveis relevantes do problema. Na fase de Modelagem, constrói-se um modelo quantitativo que define as relações causais entre as variáveis selecionadas na primeira fase. Já na fase de modelo de solução, utiliza-se um modelo de resolução de processos, através de regras matemáticas. E finalmente, na fase de implementação, os resultados do modelo são aplicados.

Adicionalmente, Bertrand e Fransoo (2002) afirmam que nas pesquisas Axiomáticas Descritivas, os pesquisadores não passam pela fase de resolução de problemas. Nas Axiomáticas Normativas, os pesquisadores desenvolvem a modelagem e o modelo de solução. Nas Empíricas Descritivas, os pesquisadores desenvolvem a conceitualização, modelagem e a modelo de solução. E finalmente nas Empíricas Normativas, todo o ciclo é desenvolvido, sendo a mais completa das pesquisas.

De acordo com o que foi citado anteriormente, pode-se afirmar que a metodologia de pesquisa utilizada no desenvolvimento deste artigo é a *Empírica Descritiva*. Optou-se por esta metodologia, pois este trabalho preocupa-se em melhorar uma situação atual, ou seja, analisar a capacidade produtiva de uma célula de controle de qualidade através do uso da simulação computacional e para este feito irá se utilizar até a terceira fase do ciclo de Mitroff *et al.* (1974).

### 3.Revisão Bibliográfica

A seguir, tem-se uma descrição dos tópicos de maior importância para o desenvolvimento do presente artigo.

#### 3.1 Simulação Computacional:

Morabito e Pureza (2010) acreditam que o principal desafio de gestores em ambientes empresariais é o de tomar decisões para que o sistema opere da melhor forma possível. Em tais situações a utilização de modelos de simulação permite compreender melhor o ambiente em questão, identificar problemas, formular estratégias e oportunidades e ainda apoiar e sistematizar o processo de tomada de decisões.

Para Sandanayake, Oduoza e Proverbs (2008) as ferramentas de modelagem e simulação auxiliam a visualizar, analisar e otimizar processos complexos de produção, dentro de uma quantia razoável de tempo e investimento. Ainda segundo os autores, a simulação de sistemas de manufatura tem se tornado cada vez mais importante na busca de uma melhor performance dos processos.

A simulação computacional pode ser definida como a representação virtual de um sistema da vida real através de um modelo, tornando possível o estudo do sistema sem que seja necessário construí-lo na realidade, ou mesmo fazer modificações nesse sistema, e estudar os resultados dessas modificações, sem que haja necessidade de alterá-lo previamente (HARREL, GHOSH e BOWDEN, 2000).

De acordo com Boeira (2008) a simulação além de contribuir na otimização de recursos em busca de melhorias na produtividade e qualidade de produtos e serviços, permite testar alterações em diferentes cenários, auxiliando assim na compreensão do que estas alterações irão provocar nos processos existentes e ainda ampliando o conhecimento de como o sistema funciona.

Segundo Sakurada e Miyake (2009) a simulação é uma técnica utilizada tanto para projeto e avaliação de novos sistemas, como para reconfiguração física ou mudanças no controle e/ou regras de operação de sistemas existentes.

#### 3.2 Modelagem Conceitual

A Modelagem conceitual tem sido reconhecida como um passo crítico que afeta diretamente a qualidade e a eficiência dos projetos de simulação. Uma modelagem conceitual bem realizada reduz significativamente as barreiras da comunicação, diminui o tempo de projeto e ainda melhora a qualidade da simulação (ZHOU, ZHANG e CHEN, 2006).

Apesar de, segundo Robinson (2006), a noção de modelagem conceitual ser vaga, indefinida e com várias interpretações do seu significado, alguns autores apresentam diferentes definições para este tópico.

Sargent (2008) explica a diferença entre modelo conceitual e modelo computacional. Segundo o autor, modelo conceitual é a representação matemática, lógica ou verbal de um problema, enquanto que modelo computacional é a implementação deste modelo conceitual no computador. O modelo conceitual é desenvolvido através de fases de análises e modelagem, já o modelo computacional através das fases de programação computacional e implementação.

Para Robinson (2008) o modelo conceitual é uma descrição específica do modelo computacional, independente do software de simulação, que descreve objetivos, entradas, saídas, conteúdo, suposições e simplificações do modelo. Já para Nunes (2010) a etapa de modelagem conceitual propicia a identificação dos principais componentes do sistema, além de fundamentar o desenvolvimento do modelo computacional.

A estrutura do modelo conceitual deverá ser desenvolvida de forma que facilite a abstração, visualização e interpretação dos elementos do sistema (SARGENT, 2008). O autor ainda afirma que uma estrutura bem desenvolvida possibilita a progressão ordenada do estudo, onde todas as funções e variáveis disponíveis no ambiente real, interconexões e regras estabelecidas, serão investigadas e representadas através de esquemas, pseudocódigos e/ou descrições verbais.

### 3.3 IDEF-SIM

Leal, Almeida e Montevechi (2008) propuseram uma nova técnica de modelagem conceitual, denominada de IDEF-SIM (Integrated Definition Methods - Simulation), que utiliza e adapta elementos lógicos das técnicas de modelagem já consagradas no Business Process Modelling, permitindo assim a elaboração de modelos conceituais com informações úteis ao modelo computacional. Além desta utilização, a técnica permite ainda uma documentação de modelos computacionais, facilitando o entendimento do projeto (LEAL *et al.*, 2009).

A principal característica do IDEF-SIM é a identidade da sua lógica de aplicação com a lógica utilizada em simulação a eventos discretos. Esta característica tem como objetivo criar um modelo conceitual do processo a ser simulado que contenha elementos requeridos na fase de modelagem computacional.

Os elementos utilizados para compor a técnica IDEF-SIM foram selecionados das técnicas de modelagem já consagradas: IDEF0, IDEF3 e fluxograma. Embora as técnicas IDEF sejam aptas à modelagem de sistemas, quando utilizadas em projetos de simulação elas deixam de registrar aspectos importantes, por não terem sido estruturadas para projetos de simulação. Desta forma, o IDEF-SIM se utiliza de símbolos do IDEF0, IDEF3 e fluxograma, mas dentro de uma lógica que contempla a simulação (LEAL, ALMEIDA E MONTEVECHI, 2008).

A modelagem conceitual através do IDEF-SIM pode ser encontrada em trabalhos como Peixoto *et al.* (2012), Lobato e Lima (2010), Montevechi *et al.* (2010), Nunes e Rangel (2009), entre outros. ...

## 4. Aplicação do Método

Conforme explicado anteriormente, irá se utilizar do ciclo de Mitroff *et al.* (1974) para o desenvolvimento do método de pesquisa escolhido, a Modelagem e Simulação. Irá se utilizar das etapas de conceitualização, modelagem e modelo de solução.

### 4.1 Conceitualização

A empresa em questão é uma empresa de alta tecnologia que se destaca por oferecer soluções integradas, inovadoras e customizadas e refletir uma alta capacidade de adaptar e desenvolver produtos segundo as necessidades específicas de seus clientes. Essa capacidade só é possível em função do domínio da tecnologia de sistemas de comunicação óptica que a empresa apresenta. Para apresentar soluções em comunicação óptica aos clientes, a empresa produz os equipamentos necessários para se compor um sistema chamado rack. Este é montado de acordo com a necessidade de cada cliente. Para a produção dos equipamentos componentes deste rack, a empresa dispõe de seis células de produção e uma célula controle de qualidade.

Esta célula de controle de qualidade é responsável por garantir a entrega de produtos conformes aos clientes, uma vez que realiza testes visuais e elétricos nos produtos recebidos das células de produção antes destes produtos serem enviados à expedição. Nesta empresa em questão, existe somente uma célula de controle de qualidade para seis linhas de produção, o que faz com os gestores tenham dúvida com relação ao atendimento da demanda de produtos se esta demanda aumentar nos próximos períodos.

Para sanar esta dúvida, é preciso se ter um maior conhecimento da real capacidade da célula de controle de qualidade. Portanto, utilizou-se das vantagens da simulação computacional a eventos discretos para construir um modelo que represente esta célula dentro de um mundo virtual, onde se torna possível verificar a capacidade produtiva desta e ainda criar diversos cenários para verificar flutuação da demanda frente a diversas condições.

Para construção do modelo computacional, um primeiro passo necessário e de extrema importância é a modelagem conceitual. Para construção deste primeiro modelo utilizou-se da técnica IDEF-SIM e este modelo conceitual encontra-se na figura 2 a seguir.

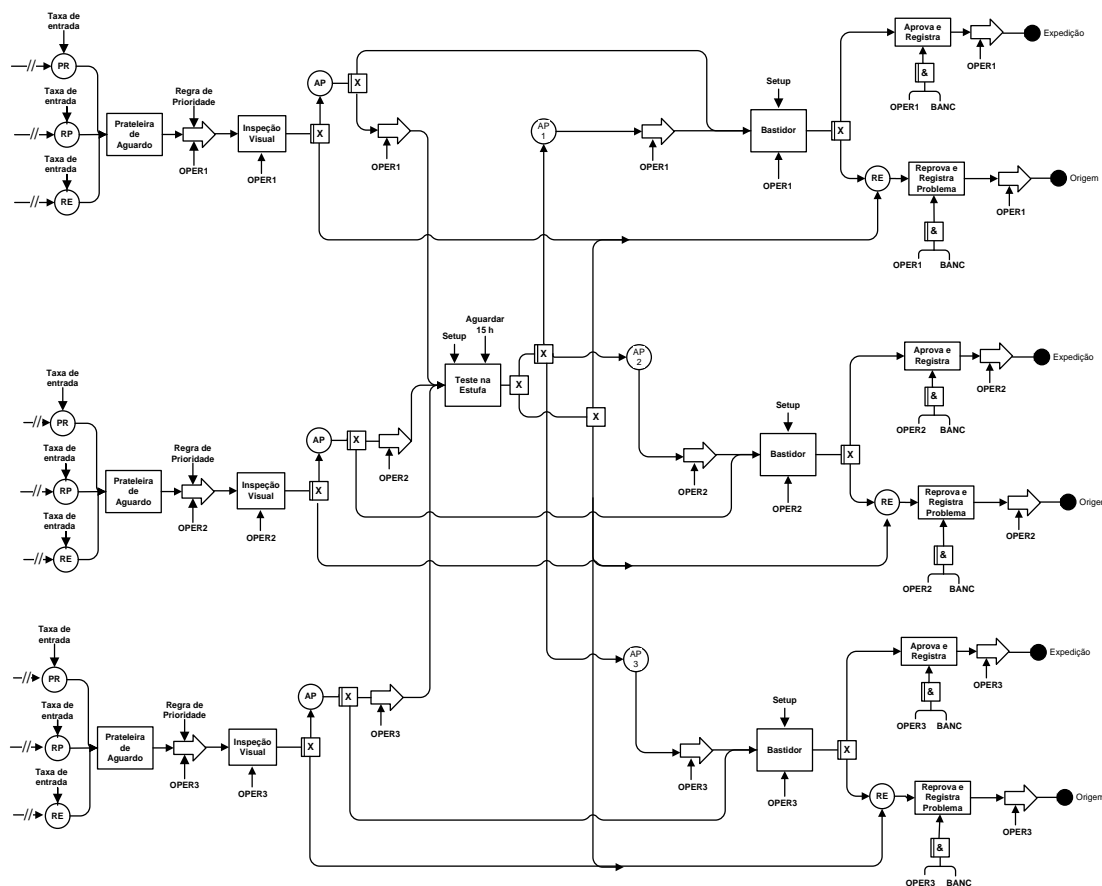


Figura 2- Modelo conceitual da célula de controle de qualidade em IDEF-SIM

## 4.2 Modelagem

Uma vez modelado conceitualmente o sistema, foi possível entender o fluxo do processo e assim iniciar a construção do modelo computacional da célula de controle de qualidade através do uso do software Promodel®. Para a obtenção dos dados relacionados ao tempo de duração das atividades, cronometraram-se os tempos das atividades de inspeção visual, de teste de bastidor e ainda a de reporte de produtos, sendo eles aprovados ou reprovados. Foram coletados os tempos destas atividades para cada uma das 23 famílias testadas na célula durante seis meses. É importante ressaltar que se utilizou do modelo IDEF-SIM para decidir quais seriam os pontos principais de cronometragem.

Realizou-se em seguida o tratamento dos dados, ou seja, os dados cronometrados de cada família de produtos foram agrupados, os possíveis *outliers* foram eliminados e por fim, a melhor distribuição de cada conjunto de dados foi encontrada, através do software MINITAB®. As demais informações necessárias à construção do modelo computacional foram retiradas do próprio sistema de armazenagem de dados da empresa, sistema este chamado TOTVS®.

Foram construídas dez versões do modelo computacional, em ordem crescente de complexidade, antes de se chegar à versão final do modelo. Cada nova etapa era construída somente se a etapa anterior tivesse sido verificada.

A verificação consiste em assegurar se o programa computacional e sua implementação estão funcionando corretamente (SARGENT,2008). Para o processo de verificação do modelo

utilizou-se de alguns recursos do próprio software como contadores, variáveis, e sinalizadores, além da animação gráfica para verificar incoerências do modelo. É importante destacar que além dos recursos gráficos do software, utilizou-se também o modelo conceitual em IDEF-SIM para certificar-se que a lógica do modelo computacional estava de acordo com a lógica do modelo conceitual validado. A tela da versão final do modelo computacional encontra-se na figura 3, a seguir.

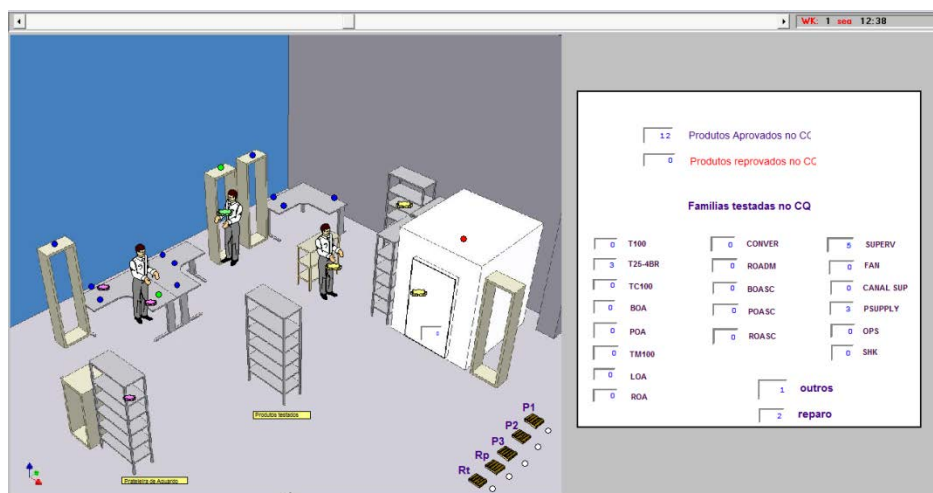


Figura 3- Tela da versão final do modelo computacional

Pode-se perceber através da figura 3 que alguns recursos visuais como contadores, sinalizadores e um painel com a quantidade de produtos testados por família foram incluídos no modelo para uma melhor visualização por parte dos gestores da empresa.

No projeto de simulação, uma vez verificado o modelo computacional, o próximo passo importante a ser seguido é a validação operacional deste modelo. Segundo Sargent (2008) a validação operacional é definida como a determinação de que o comportamento do modelo simulado detém precisão suficiente para representar o modelo real para a aplicabilidade a qual se destina. Assim, se o modelo não é uma aproximação do sistema real, todas as conclusões derivadas deste estarão susceptíveis a erros e poderão resultar em decisões incorretas.

De acordo com Sargent (2009), existem diversas técnicas de validação, como por exemplo, animação, comparação com outros modelos, testes degenerativos e teste de Turing. Para este modelo, utilizou-se das técnicas de validação face a face e validação estatística.

Para a validação face a face do modelo computacional, foi realizada uma reunião com os gestores do projeto e especialistas da célula de controle de qualidade. Primeiramente, apresentou-se novamente o modelo conceitual em IDEF-SIM, para representar qual lógica o modelo computacional havia seguido. A pesquisadora fez novamente uma leitura passo a passo do modelo conceitual, mas desta vez a preocupação maior era mostrar como alguns trechos do modelo conceitual iriam ser convertidos em programação do modelo computacional.

Na validação estatística, o principal teste a ser realizado é o chamado Teste de Hipóteses, através do qual irá se comparar os dados simulados de uma determinada variável e os dados reais coletados do sistema desta mesma variável. Entretanto, para a realização deste, é necessário descobrir se os dados são considerados normais e se as variâncias das duas amostras são iguais. Para isso faz-se o Teste de Normalidade e o Teste de igualdade de variâncias, respectivamente.

A variável de saída escolhida para realizar-se a validação estatística foi a variável “número de peças testadas mensalmente” na célula de controle de qualidade. Os resultados simulados desta variável serão comparados estatisticamente com dados reais da empresa, em um horizonte de doze meses.

O software escolhido para a validação estatística foi o software MINITAB®. Primeiramente realizou-se o teste de normalidade para os dados reais e simulados. Encontrou-se um p-value superior ao valor de 0.05, caracterizando a distribuição dos dados como uma distribuição normal. Com os dados considerados normais, realizou-se então o teste de igualdade de variâncias, uma vez que para o teste posterior, o teste de hipóteses, será necessário saber se estas variâncias são iguais ou não. Como o p-value encontrado foi inferior ao valor de 0.05, considera-se que as variâncias não são iguais, e esta informação é transferida ao teste de hipóteses. Por fim, realizou-se o Teste t. Como a estatística do Teste t (p-value = 0.553) foi maior que o nível de significância adotado ( $\alpha = 0,05$ ), o modelo foi validado estatisticamente para a variável de saída quantidade de produtos testados por mês. Portanto, considera-se que o modelo computacional representa a realidade e este se encontra apto a receber experimentações.

Já neste primeiro modelo computacional, através dos gráficos de utilização dos operadores gerados pelo modelo, foi possível perceber uma grande ociosidade de um dos funcionários da célula, contrariando assim a ideia dos responsáveis pela célula que os operadores estavam sobrecarregados com o volume da demanda atual.

### 4.3 Modelo de Solução

Após a validação do modelo computacional da célula, realizou-se uma reunião com os gestores com a intenção de verificar quais as principais variáveis que seriam osciladas a fim de verificar o comportamento da capacidade da célula de controle de qualidade. Foram propostos onze cenários, sendo que o objetivo principal da construção destes cenários era verificar como as mudanças propostas pelos gestores afetariam na capacidade produtiva da célula em questão.

Os cenários, bem como suas principais mudanças, encontram-se a seguir:

- **Cenário 1: Cálculo da Capacidade**

O objetivo da construção deste cenário é eliminar a restrição de entrada de produtos na célula, ou seja, considerar a entrada como infinita para que a capacidade de teste do sistema possa ser medida. Este cenário serviu como base para os demais, uma vez que se desejava analisar os efeitos das melhorias propostas nos cenários desconsiderando qualquer restrição de entrada, permitindo assim que a célula esteja trabalhando com sua capacidade máxima de teste.

- **Cenário 2 : Automação**

A mudança relacionada a este cenário é a automação de uma das etapas de testes realizada na célula, etapa esta que ocorre no bastidor. Uma vez automatizada, o operador não mais precisará fazer o acompanhamento deste teste, estando assim livre para realizar demais tarefas. Com a automação, o setup a se realizar no bastidor de teste seria um pouco mais complexo, aumentando o tempo de realização deste setup em aproximadamente 20%. Já a realização dos testes elétricos neste bastidor, devido à agilidade oferecida pela automação, teria uma queda em sua duração de aproximadamente 50%. Estes valores foram estimados pelo gestor responsável pelo desenvolvimento e aplicação desta automação na célula.

- **Cenário 3: Estufa**

Outro cenário proposto foi o relacionado à estufa presente na célula de controle de qualidade. Esta estufa é responsável por realizar testes elétricos nos produtos, sob certa temperatura, em um período de 15 horas. Entretanto, esta questão sobre o tempo mínimo de permanência de um produto na estufa já havia sido levantada em reuniões anteriores. Portanto, a fim de entender qual seria o impacto no número de peças testadas com uma redução no tempo de teste da estufa, propôs-se um cenário onde o tempo de permanência do produto na estufa seria de apenas 3 horas.

- **Cenário 4 : Coringa**

Para este cenário optou-se por acrescentar um operador e uma bancada para auxiliar os três operadores já existentes na célula. Este operador extra, chamado de coringa, seria uma possível solução se futuramente a demanda de produtos a serem testados aumentasse.

Uma vez que este operador coringa consegue testar qualquer família de produtos, o mesmo seria responsável por testar 30% de cada grupo de famílias direcionado aos demais



operadores. Este valor estimado foi considerado razoável pelos gestores da célula, entretanto este valor pode ser facilmente alterado no modelo computacional se assim for desejado.

- **Cenário 5: Dois operadores**

Neste cenário, considerou-se que somente dois operadores trabalhariam na célula. Para tanto, eliminou-se o operador 2, mantendo sua bancada. Assim, as famílias de peças a serem testadas pelo operador eliminado seriam testadas pelo operador 1 ou pelo operador 3, entretanto nos locais de teste do operador 2.

- **Cenário 6: Reporte**

Durante o processo de cronometragem, pôde-se perceber que os operadores gastavam um tempo considerável na atividade de registrar a aprovação e reprovação, ou seja, a atividade de reporte. Em conversa com os operadores, foi possível pensar em alternativas para se reduzir o tempo desta atividade, como eliminação de algumas etapas repetitivas e melhorias no software utilizado para o registro. A redução estimada foi de 50% do tempo de reporte. Este valor foi considerado razoável pelos operadores e por funcionários de TI (Tecnologia da Informação) contatados na empresa.

- **Cenário 7: Hora extra**

Outra proposta levantada para a construção de um novo cenário foi considerar que os operadores trabalhassem em um período de hora extra. A realização de hora extra pelos funcionários é uma política adotada na empresa quando necessário. Normalmente, os operadores não trabalham mais do que 16 horas extras em um mês. Esta foi então a quantidade de horas escolhida para representar a realização de hora extra no cenário a ser construído.

- **Cenário 8: Duplicar Operador 1**

Assim como o cenário de um operador coringa, este cenário também apresenta um quarto operador. Entretanto, este operador extra realizará as mesmas atividades realizadas pelo operador 1. Por isso deu-se o nome “Duplicar operador 1” a este cenário. A proposta presente neste cenário se torna interessante à empresa se houver um aumento da demanda de produtos testados pelo operador a ser duplicado, neste caso o operador 1.

- **Cenário 9: Duplicar Operador 2**

Na mesma linha de pensamento do cenário anterior, este cenário também apresenta um quarto operador. Entretanto, neste cenário o operador extra realiza as mesmas atividades do operador 2.

- **Cenário 10: Duplicar Operador 3**

Assim como os dois cenários anteriores, este cenário apresenta como proposta duplicar um determinado operador. A diferença é que neste cenário o quarto operador realiza as mesmas atividades do operador 3 da célula.

- **Cenário 11: Duplicar todos os operadores**

Já para este cenário considerou-se a possibilidade de duplicar todos os operadores atualmente presentes na célula de controle de qualidade. Este cenário pode ser interessante para empresa quando a mesma tiver um aumento considerável da demanda de todas as famílias de seus produtos.

Vale lembrar que o objetivo principal da construção destes cenários era avaliar como algumas possíveis mudanças afetariam o número de peças testadas mensalmente na célula de controle de qualidade. Para melhor analisar o efeito dessas mudanças, compararam-se os resultados gerados em cada cenário com os resultados do cenário “Capacidade”. Cenário este que considera o funcionamento atual da célula, entretanto com uma entrada infinita de peças para que a taxa de entrada de peças a serem testadas não represente um gargalo e assim, a célula trabalhe em sua capacidade máxima. O gráfico na figura 4 a seguir ilustra a diferença percentual de cada cenário relacionado ao cenário “Capacidade”.

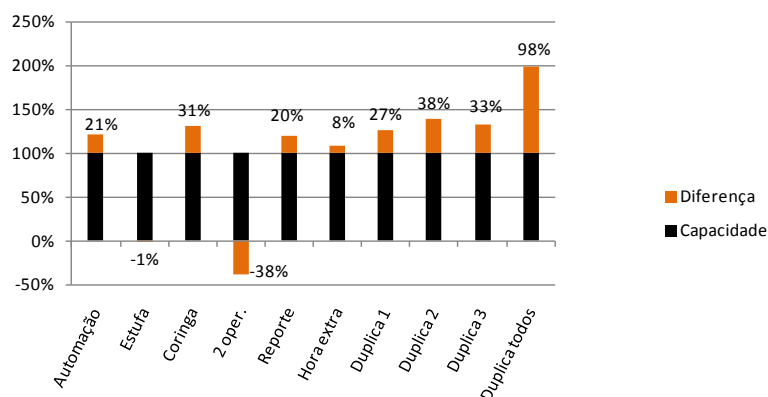


Figura 4- Gráfico da diferença percentual entre em cenários comparado a capacidade

No cenário “Automação”, onde uma das etapas de teste é automatizada, tem-se um aumento de 21% no número de peças testadas. Já no cenário “Estufa” praticamente não se tem alteração no total de peças testadas ao se diminuir o tempo de duração das peças na estufa. Isso porque, o aumento do número de peças, gerado por uma frequência maior de peças testadas na estufa, não é absorvido pelo operador, ou seja, gera um acúmulo de peças a serem testadas na atividade posterior. A ligeira queda no número de peças pode ser explicada por um maior tempo dispensado na movimentação dos operadores ao buscarem as peças que saem da estufa a cada 3 horas.

O cenário “Coringa” apresenta um aumento de 31% no número de peças testadas mensalmente. É importante lembrar que para este cenário considerou-se que o novo operador testaria 30% das peças destinadas a cada operador. Entretanto, este valor pode ser facilmente alterado no modelo computacional, conforme interesse da empresa.

Para o cenário “2 operadores”, que representa a redução de um operador na célula, tem-se uma queda de 38% das peças testadas. Porém, cabe ressaltar que mesmo com esta queda, o número de peças testadas no cenário com apenas dois operadores é próximo ao número de peças testadas no modelo do cenário atual, ou seja, se a demanda atual fosse mantida seriam necessários apenas dois operadores para a realização de atividades na célula.

No cenário “reporte”, onde se propõem a redução do tempo da atividade de reporte em 50%, redução esta considerada possível tanto por operadores quanto por responsáveis da área de TI da empresa, tem-se um aumento de 20% no número de peças testadas mensalmente. Este cenário mostra-se interessante tanto pelo aumento no número de peças testadas quanto pela eliminação de atividades dentro do processo de reporte que não agregam valor a empresa.

Com o cenário “Hora extra” tem-se um pequeno aumento de 8% do número de peças testadas por mês. Este cenário foi baseado em uma realidade atualmente presente na empresa, quando há um aumento na demanda de peças. Entretanto, esta opção deve ser cuidadosamente pensada, uma vez que se têm custos relacionados à hora extra dos operadores, não considerados neste trabalho. Outra questão importante é que outros cenários, como o de reporte, apresentam um aumento percentual maior de peças testadas e ainda não envolve grandes custos na sua implementação.

Já nos cenários “Duplicar operador 1”, “Duplicar operador 2” e “Duplicar operador 3”, tem-se aumentos de 27%, 38% e 33%, respectivamente. Para cada um destes cenários existe um operador extra que irá realizar as mesmas atividades de um operador específico. A proposta destes três cenários é duplicar um determinado operador se a demanda das famílias testadas por ele sofrer um relativo aumento.

No último cenário tem-se o maior aumento percentual com relação ao número de peças testadas mensalmente, isso porque os três operadores presentes atualmente na célula são duplicados em um mesmo cenário. Esta proposta pode ser pensada se houver um aumento significativo na demanda de peças a serem testadas na célula de controle de qualidade.

Todos os resultados gerados dos modelos computacionais, gráficos, tabelas, bem como a análise de cada cenário, foram apresentados em reunião e entregues aos gestores da empresa em forma de relatório. Com este relatório em mãos, os tomadores de decisão da empresa poderão escolher quais mudanças deverão ocorrer na célula de controle de qualidade, cientes de como a mesma irá reagir.

## 5. Conclusão

Tão importante quanto conhecer o funcionamento do próprio processo, é saber qual a real capacidade produtiva deste. Cientes disso, os gestores da empresa analisada demonstraram grande preocupação em conhecer qual a capacidade de sua célula de controle de qualidade e quais seriam os comportamentos desta célula frente a diversas mudanças.

A simulação computacional a eventos discretos mostrou-se uma importante ferramenta de análise a capacidade da célula de controle de qualidade da empresa em questão, bem como a oscilação desta capacidade frente a mudanças. Através do uso desta técnica foi possível construir um modelo computacional validado que representasse o atual comportamento da célula de controle de qualidade.

Foi possível ainda construir diversos cenários que consideravam as mudanças propostas pelos próprios gestores da empresa citada. Através da análise de um destes cenários, que considerou somente dois operadores trabalhando na célula, verificou-se que com apenas esta quantidade de recursos era possível atender a demanda atual da empresa. Portanto, pode-se dizer que os recursos humanos da célula estavam superestimados e não subestimados como acreditavam os gestores que motivaram este trabalho.

A construção destes cenários tornou possível simular em ambiente virtual, livre de custos e riscos, como a célula reagiria frente a algumas alterações, principalmente com relação a variável de saída “número de peças testadas”, fornecendo assim aos gestores uma base para futuras tomadas de decisão.

## 6. Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG, a CAPES, ao CNPq e aos funcionários da empresa em estudo pelo apoio e suporte no desenvolvimento deste trabalho.

## 7. Referências Bibliográficas

- Boeira, L. do M.**, Simulação computacional: um estudo de caso em uma empresa fabricante de câmaras de ar pneumáticas. 2008. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- Bertrand, J.W.M. e Fransoo, J.C.** Modelling and Simulation: operations management research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of Operations & Production Management*, v.22, n.2, p.241-264, 2002.
- Chwif, L.e Medina, A.C.** Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações. São Paulo: Ed. dos Autores, 2006.
- Damji, N.** Business process modelling using diagrammatic and tabular techniques. *Business Process Management Journal*, v. 13, n. 1, p. 70-90, 2007.
- Gill, P. J.** Application development: business snapshot business modeling tools help companies align their business and technology goals. *Information Week*, 1999.
- Harrell, C.; Ghosh, B. K. e Bowden, R.** *Simulation Using Promodel*. 3. ed., Boston: McGraw-Hill, 2000.
- Jung, C. F.** Metodologia Científica: Ênfase em Pesquisa Tecnológica, Terceira edição. Revisada e Ampliada. FACCAT, 2003.
- Leal, F.; Almeida, D.A. de e Montevechi, J.A.B.** (2008) Uma Proposta de Técnica de Modelagem Conceitual para a Simulação através de elementos do IDEF. In: Anais do XL Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, João Pessoa, PB.
- Leal, F.; Oliveira, M. L. M.; Almeida, D. A. de e Montevechi, J. A. B.** (2009) Desenvolvimento e aplicação de uma técnica de modelagem conceitual de processos em projetos de simulação: o IDEF-SIM. In: XLI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Porto Seguro.

- Lobato, K.C.D e Lima, J.P.** Caracterização e avaliação de processos de seleção de resíduos sólidos urbanos por meio da técnica de mapeamento. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.15, n.4, p.347-356, 2010.
- Mitroff, I. I.; Betz, F.; Pondy, L. R. e Sagasti, F.** On managing science in the system age: two schemas for the study of science as a whole system phenomenon. *Interfaces*. v.4, n.3, p.46-58, 1974.
- Montevechi, J. A. B.; Leal, F.; Pinho, A. F.; Costa, R. F. S.; Oliveira, M. L. M. e Silva, A. L. F.** (2010) Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: an application in a Brazilian tech company. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference, Baltimore, USA*.
- Morabito R. e Pureza, V.** Modelagem e simulação. In: Paulo A. C. Miguel. (Org.). *Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações*, 1 ed., Rio de Janeiro: Campus/Elsevier, 2010.
- Muehlen zur, M. e Indulska, M.** Modeling languages for business processes and business rules: A representational analysis. *Informat. Systems*, 2009.
- Nunes, A. F.** Aspectos da aplicação do IDEF-SIM na construção e documentação de modelos conceituais em projetos de simulação. 2010. 191 f. Dissertação ( Mestrado em Pesquisa Operacional e Inteligência Computacional) - Universidade Candido Mendes, Campos dos Goytacazes, RJ, 2010.
- Nunes, A. F. e Rangel, J.J. de A.** (2009) Aspectos da Aplicação do IDEF-SIM na construção de modelos de simulação com Arena. In: *XLI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Porto Seguro*.
- Peixoto, T. A.; Rangel, J.J. de A.; Matias, I. de O. e Soares, A.Z.** (2012) Análise de um sistema a eventos discretos utilizando um simulador de código livre. In: *XLIV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Rio de Janeiro*.
- Robinson, S.** (2006) Conceptual modeling for simulation: issues and research requirements. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference, Monterey, CA, USA*.
- Robinson, S.** (2008) Conceptual modelling for simulation part 1: definition and requirements. *Journal of the Operational Research Society*, v. 59, p. 278–290.
- Rosemann, M.; Green, P.; Indulska, M. e Recker, J. C.** Using Ontology for the Representational Analysis of Process Modelling Techniques. *International Journal of Business Process Integration and Management*, v.4, n.2, 2010.
- Sakurada, N. e Miyake, D.I.** Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços. *Gestão da Produção, São Carlos*, v. 16, n. 1, p. 25-43, 2009.
- Sandanayake, Y.G. e Oduoza, C.F.; Proverbs, D.G.** A systematic modelling and simulation approach for JIT performance optimization. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, v. 24, p.735-743, 2008.
- Sargent, R.G.** (2008) Validation and verification of simulation models. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference, Miami, FL, USA*.
- Sargent, R.G.** (2009) Verification and validation of simulation models. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference, Austin, USA*.
- Zhou, M.; Zhang, Q.; Chen, Z.** (2006) What can be done to automate conceptual simulation modeling? In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference, Monterey, USA*.