

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS  
UNIDADE ACADÊMICA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA  
MBE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS**

**JADER BELLINI JUNIOR**

**LINHA DE PRODUÇÃO DE REATORES DE POTÊNCIA: PREVISÃO DE  
CAPACIDADE PRODUTIVA POR MEIO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

**São Leopoldo**

**2014**

Jader Bellini Junior

LINHA DE PRODUÇÃO DE REATORES DE POTÊNCIA: PREVISÃO DE  
CAPACIDADE PRODUTIVA POR MEIO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Artigo apresentado como requisito parcial  
para obtenção do título de MBE em  
Engenharia de Produção e Sistemas da  
Universidade do Vale do Rio dos Sinos -  
UNISINOS

Orientador: Prof. MSc. Fabiano Charlier Ahlert

São Leopoldo

2014

# **LINHA DE PRODUÇÃO DE REATORES DE POTÊNCIA: PREVISÃO DE CAPACIDADE PRODUTIVA POR MEIO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

Jader Bellini Junior <sup>1</sup>

Fabiano Charlier Ahlert<sup>2</sup>

**Resumo:** Com os desafios atuais do mercado nacional e internacional de produtos para transmissão e distribuição de energia elétrica a capacidade de adaptação das linhas de produção é um dos fatores que influenciam a competitividade das grandes corporações deste ramo. Este trabalho pretende simular uma linha de produção exclusiva de reatores de potência com o objetivo de realizar uma previsão da capacidade produtiva. Para isto foi realizado um estudo em uma empresa fabricante de transformadores e reatores de potência através da aplicação da técnica de pesquisa operacional chamada Simulação Computacional baseado em dados históricos coletados na área de produção. A partir dos resultados da simulação foi possível demonstrar o potencial aumento de produção desta linha dedicada, além de outros fatores de desempenho da produção.

**Palavras-chave:** Simulação Computacional, Previsão de Capacidade Produtiva, Reatores de Potência.

## **1 INTRODUÇÃO**

A necessidade de prosperar em um ambiente de acirrada competitividade é um cenário imposto às grandes corporações em um momento de mercado globalizado. Melhorar os critérios de competitividade, flexibilidade, produtividade, qualidade e custos, é um desafio comum às empresas que buscam prosperar neste atual cenário de economia globalizada (DURÁN, 2003).

Esta exigência do mercado atual demanda uma capacidade de adaptação muito rápida das empresas. Porém conforme Cassel (1996) os sistemas industriais estão cada vez mais dinâmicos e complexos, por esse motivo, dificultando o uso de técnicas de otimização. Pelo fato de estes ambientes não serem determinísticos, abre-se um grande campo para a utilização da simulação de processos industriais, que empregam o uso de ferramentas estocásticas, sendo assim representando as variações que ocorrem no processo de manufatura.

---

<sup>1</sup> Jader Bellini Junior – bellinjr@gmail.com – Graduado em Engenharia Elétrica pela UNISINOS.

<sup>2</sup> Fabiano Charlier Ahlert – fcahlert@unisininos.br – Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, Graduado em Administração de Empresas, pela UNISINOS, Professor em Cursos de Graduação em Administração e Tecnólogo em Logística e no Pós-Graduação do MBE em Engenharia de Produção e Sistemas da UNISINOS. Pesquisador na área de Pesquisa Operacional.

O presente artigo tem como objetivo principal geral estimar a capacidade produtiva de uma proposta de linha de produção alternativa, dedicada exclusivamente a produção de reatores monofásicos de 500kV e divididos em três faixas de potência até 70MVA<sub>r</sub>, visando a implementação em uma empresa do ramo de produtos para transmissão e distribuição de energia elétrica. Além do objetivo principal, busca-se com essa pesquisa estimar a quantidade de horas de fabricação, o lead time e o tempo de espera entre etapas nesta proposta de linha de produção dedicada.

A fábrica localizada na região sul do Brasil integrante de um grupo multinacional que, dentro de seu amplo ramo de atuação, está presente no setor de serviços e produtos para transmissão e distribuição de energia elétrica. Com fábricas nos cinco continentes, conta com mais de 20.000 colaboradores e apresentou nos últimos anos um faturamento mundial em torno dos 3,5 bilhões de Euros.

A unidade da empresa onde foi realizado o estudo fabrica transformadores, autotransformadores e reatores de potência. Com duas linhas de montagem principais a fábrica produz todo o seu portfólio de produtos nesta configuração. Apesar de estes produtos serem constituídos pelos mesmos componentes padrões como núcleo, bobina, ligações, tanque, bucha, etc., as diferenças construtivas e dimensionais destes componentes e do produto final em si não permitem uma abordagem de produção em série com produção de lotes e outras características deste tipo de sistema. Essa diferenciação presente em cada projeto torna o sistema de produção por projeto mais adequada à realidade da fábrica.

O estudo foi focado na produção de reatores monofásicos, que por definição são equipamentos com a função de compensar o efeito capacitivo de linhas de transmissão energizadas com corrente alternada evitando que exista um aumento indesejado do nível de tensão no fim da linha (AREVA T&D, 2008).

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Esta seção tem a finalidade de abordar uma revisão bibliográfica sobre a técnica de Simulação Computacional e seu enfoque na utilização dela para análise de capacidade produtiva.

## 2.1 Simulação Computacional

A simulação computacional, através de modelos, visa reproduzir um processo do mundo real ou pensado para o mundo real, agregando a variabilidade inerente e tentando antecipar os resultados da operação, antes de colocar a situação em prática ou fazer alterações no processo real.

“Um modelo é uma representação externa e explícita de parte da realidade vista pela pessoa que deseja usar aquele modelo para entender, mudar, gerenciar e controlar parte daquela realidade” (PIDD,1998, p.25). Embora o modelo seja uma simplificação da realidade, deve conter informações suficientes para que possa ser considerado uma representação válida (BORBA, 1998).

Um modelo de simulação apresenta vantagens como seu baixo custo, facilidade de análise de sistemas complexos, redução de riscos e maior rapidez em comparação com sistemas em estado real (PIDD, 1998).

Law e Kelton (2000) afirmam que os modelos de simulação podem ser classificados como: (i) estáticos ou dinâmicos, (ii) determinísticos ou estocásticos, e (iii) discretos ou contínuos.

Gogg (1996) define modelos estáticos, aqueles não influenciados pelo tempo, e dinâmicos quando os valores podem mudar de acordo com a passagem do tempo.

Para a segunda classificação Law e Kelton (2000) afirmam que nos modelos determinísticos os resultados são gerados por modelos que não contêm componentes de probabilidades. Enquanto para modelos estocásticos são criadas entradas aleatórias de componentes as quais também geram saídas aleatórias

Na última sugestão de classificação Gogg (1996) afirma que em eventos discretos as mudanças ocorrem em um momento pontual no tempo, enquanto que para eventos contínuos a simulação muda constantemente com o passar do tempo.

Todas estas definições servem para estruturar o modelo, porém conforme Brighenti (2006), a simulação não é uma ferramenta que substitui o trabalho da interpretação humana, porém auxilia sendo capaz de fornecer resultados para análises mais elaboradas a respeito da dinâmica do sistema, e assim permitindo uma interpretação mais profunda e abrangente do sistema estudado

Ahlert (2010) também afirma que a simulação é uma ferramenta exploratória de apoio à decisão e, além do projeto de um modelo, compreende necessariamente a realização de experimentos que permitam a análise de comportamentos futuros.

O uso desta ferramenta para previsão da capacidade produtiva possibilita uma avaliação de flutuações na demanda e mix de produção, analisando os impactos que estas variáveis de processo podem gerar em indicadores de desempenho de acordo com a capacidade gerada e a necessidade de demanda (PERGUER e VACCARO, 2009).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho de pesquisa investiga os resultados da aplicação da metodologia de Simulação Computacional no desenvolvimento de um sistema ainda não implementado a partir da coleta de dados em cada etapa do processo.

No caso estudado nesta pesquisa, o modelo pode ser classificado como dinâmico, estocástico e discreto, conforme as classificações descritas na seção anterior.

A metodologia da simulação teve suas etapas guiadas pelo modelo elaborado por McHaney (1991) devido ao estudo em questão não propor cenários alternativos para o sistema, mas somente uma análise dos resultados da simulação do projeto de sistema.

Figura 1 – Etapas de um estudo de simulação



Fonte: Elaborado pelo autor com base em McHaney (1991)

Esta nova linha de produção proposta produz sob a ótica de produção por projeto, pois não fabrica exatamente a mesma peça repetidamente em cada etapa. Assim apesar de as atividades serem padronizadas para cada processo, o produto manufaturado nunca é exatamente o mesmo, variando basicamente tamanho e peso, o que acarreta em uma variação nos tempos destes processos e, portanto dificulta uma análise com ferramentas determinísticas. Segundo Chwif e Medina (2007, p. 8) “um modelo de simulação consegue capturar com mais fidelidade essas características, procurando repetir em um computador o mesmo comportamento que o sistema apresentaria”.

Para o desenvolvimento deste estudo de simulação e modelagem foi utilizado o software *MicroSaint Sharp Version 3.7*. O *MicroSaint* é um software para

simulação discreta por eventos, que utiliza o conceito de VIMS (*Visual Interactive Modelling Systems*) e utiliza a abordagem genérica para o desenvolvimento dos modelos, que é denominada rede baseada em atividades. Essa abordagem consiste em que cada figura no diagrama representa uma atividade. Por fim cada atividade é ligada logicamente a fim de representar a interdependência de cada uma delas. (PIDD, 1998).

### 3.1 Coleta de Dados

A primeira definição para iniciar este estudo foi dividir os reatores monofásicos que fariam parte da simulação e como seriam tratados. Foi definido para o trabalho os reatores monofásicos de tensão 500kV, estes divididos em 3 grupos distintos conforme a potência de cada unidade. Com essa definição foi levantada a quantidade de máquinas produzidas dentro destas divisões nos últimos 4 anos.

Tabela 1 – Produção de Reatores Monofásicos de 500kV até 70MVar

TIPO	POTÊNCIA (MVar)	2011	2012	2013	2014	TOTAL POR TIPO
TIPO 1	0 - 50	26	2	15	0	43
TIPO 2	50,1 - 60	15	0	20	6	41
TIPO 3	60,1 - 70	0	3	8	18	29
<b>TOTAL POR ANO</b>		<b>41</b>	<b>5</b>	<b>43</b>	<b>24</b>	<b>113</b>

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados históricos da empresa.

A partir dos dados apresentados acima, foi definido a proporção de cada tipo de reator que deveria ser gerado na simulação:

- 38% do tipo 1;
- 36% do tipo 2;
- 26% do tipo 3.

A próxima etapa de coleta de dados deverá identificar os tempos de processamento de cada etapa diferenciando a potência da máquina que está sendo produzida.

A linha de produção se resume a linha de montagem principal do equipamento. As linhas de fabricação auxiliares que abastecem a linha principal

como, por exemplo, o corte das chapas de silício e a produção das bobinas foram considerados como um recurso sempre disponível, pois não está sendo proposta uma mudança ou dedicação exclusiva para fabricação de componentes para reatores nestas linhas. O mesmo se aplica a fabricação de tanques e armaduras para o núcleo, que hoje são adquiridos de fornecedores externos.

Figura 2 – Fluxo da Linha de Montagem



Fonte: Elaborado pelo autor com base nas informações da empresa.

Descrevendo resumidamente o fluxo apresentado, as chapas de silício são empilhadas, prensadas e fixadas nas armaduras para formar o núcleo na primeira tarefa. A bobina é inserida neste núcleo e são realizadas suas ligações elétricas na montagem de parte ativa. O conjunto núcleo/bobina é levado para o processo de tratamento onde é removida toda umidade inerente aos materiais isolantes. Após este processo de secagem, devido à perda de volume do material isolante, é necessário realizar um reaperto em todas as fixações do conjunto. Com a máquina reapertada ela inicia o processo de montagem final, onde a parte ativa é colocada dentro do seu próprio tanque, são realizadas todas as montagens externas de acessórios (radiadores, buchas, relés de proteção, etc) e o tanque é preenchido com óleo isolante para realização dos ensaios elétricos. Dentro da sala prova são realizados todos os testes elétricos e mecânicos para aprovação do produto. A máquina aprovada nos testes passa para a expedição, onde os acessórios são desmontados e embalados para serem enviados para a obra em conjunto com a máquina.

Cada processo identificado na simulação possui o sistema de apontamento de horas individual, e foi a partir desta informação que foram coletados os dados que alimentaram o modelo para esta simulação. Os dados que são apontados estão no formato homem hora (hh), pois o apontamento é focado no operador e não na atividade. Ou seja, por exemplo, uma atividade com apontamento de 400hh no sistema pode corresponder ao trabalho de um operador por 400h ou o trabalho de 4 operadores em paralelo por 100h. Logo toda a simulação foi rodada com a base de tempo em homem hora (hh).

O atual sistema permitiu uma coleta de dados dos últimos quatro anos.

### 3.2 Análise dos Dados Coletados

A coleta de dados para o estudo foi feita a partir do sistema de apontamento de horas da produção, conforme explicado ao fim da seção anterior. Logo os dados coletados não representam o tempo de produção de uma peça, mas sim o tempo gasto por cada operador naquele processo para realizar a tarefa. Portanto a primeira consideração que precisa ser feita é o número de operadores em cada uma das etapas. Esta informação foi retirada a partir dos métodos de fabricação internos da empresa que definem a necessidade de operadores para cada processo. Como na linha de produção não existem estações de trabalho com a mesma atividade em paralelo o resultado total de operadores envolvidos em todo o processo simulado pode ser verificado na tabela abaixo.

Tabela 2 – Operadores por processo

Processo	Operadores
NUC	4
MPA	2
TRA	1
REA	2
MON	2
TES	3
EXP	2
<b>Total</b>	<b>16</b>

Fonte: Elaborado pelo autor com base nas informações da empresa.

A fábrica trabalha em dois turnos, sendo que cada turno tem a duração de 8,8 horas. Devido à base de tempo ser em hh, conforme explicado, para realizar a simulação de um ano de produção é necessário calcular a quantidade de horas disponíveis neste período considerando 16 operadores trabalhando em dois turnos, 247 dias ao ano, o que resulta em 69555hh disponíveis. No entanto toda fábrica possui uma taxa de improdutividade, para refinar o nosso modelo foi adicionado a improdutividade média registrada no último ano nesta fábrica que foi de 20%. Portanto em um ano de produção temos disponíveis 55644hh.

Para definir o tempo de processo de cada etapa foram utilizados os dados coletados a partir do sistema de apontamento e modelado com o auxílio do software *EasyFit 5.0 Professional* – realizando os testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling e Qui-Quadrado – para identificação do tipo de distribuição que

melhor representassem o comportamento dos dados reais coletados. Foi feito este processo para cada etapa, assim como para cada tipo de reator. Na tabela abaixo é mostrado o modelo de distribuição selecionado para cada processo.

Tabela 3 – Distribuição de homem hora do processo

Tarefa	Tipo	Distribuição	Função
NUC	1	Log-Logistic	logLogistic(278.365551, 11.062454)
	2	Log-Logistic	logLogistic(275.469031, 11.506844)
	3	Pearson Type V	pearsonT5(12743.871048, 41.802624)
MPA	1	Log-Logistic	logLogistic(186.925945, 8.542499)
	2	Log-Logistic	logLogistic(188.065723, 8.360468)
	3	Pearson Type V	pearsonT5(8940.912989, 41.504190)
TRA	1	Erlang(E)	89.989443 + gamma(12.503580, 12.503580)
	2	Erlang(E)	94.999813 + gamma(10.429455, 10.429455)
	3	Pearson Type V	pearsonT5(2163.915108, 21.186869)
REA	1	Weibull(E)	24.698853 + weibull(16.481712, 1.244084)
	2	Weibull(E)	24.726833 + weibull(17.358974, 1.106781)
	3	Beta	17.011127 + 62.615007 * beta(0.410873, 0.141638)
MON	1	Weibull(E)	80.199815 + weibull(31.085353, 0.679854)
	2	Weibull(E)	80.199815 + weibull(31.850509, 0.670211)
	3	Log-Logistic(E)	59.566202 + logLogistic(40.247448, 3.914829)
TES	1	Log-Logistic	logLogistic(79.866888, 4.239168)
	2	Log-Logistic	logLogistic(79.953519, 4.473576)
	3	Beta	59.205713 + 140.856406 * beta(0.161949, 0.146094)
EXP	1	Pareto(E)	pareto(53.100000, 3.637453)
	2	Pareto(E)	pareto(53.100000, 3.602647)
	3	Log-Logistic	logLogistic(70.484591, 10.824611)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Outra consideração que necessita ser feita é que o formato dos dados coletados não permite identificar o tempo de transporte de uma tarefa até a outra, pois este tempo já está incluso no apontamento de horas da própria etapa. Do mesmo modo os problemas de qualidade registrados nos produtos que geram um retrabalho para a produção já estão considerados nos tempos coletados. Logo não foi considerada nenhuma taxa de retrabalho por qualidade nesta simulação.

Com a análise dos dados apresentados na tabela 3 é possível concluir que os reatores tipos 1 e 2 demandam horas de fabricação muito parecidas, mesmo assim

optou-se por não agrupar os dois tipos para manter o modelo representando o cenário mais próximo da realidade.

#### 4 MONTAGEM DO MODELO E SIMULAÇÃO

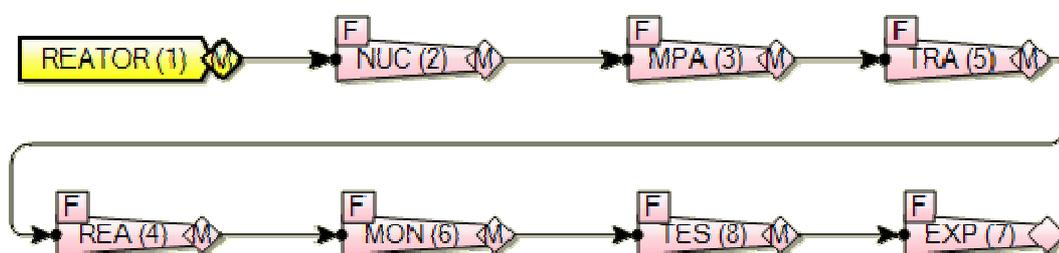
A montagem do modelo foi relativamente simples, pois a linha da produção é linear sem atividades em paralelo. Uma etapa entrega o produto para a outra consecutivamente e aguarda o recebimento da etapa anterior. No gerador de reatores para a linha foi realizado um sorteio aleatório de qual tipo de reator iria ser produzido, obedecendo a proporção definida com base na coleta de dados.

Neste tipo de produtos a demanda do mercado é conhecida com antecedência, pois são máquinas com alto valor agregado que normalmente estão vinculadas a grandes projetos que necessitam de um longo planejamento. Desse modo a simulação foi modelada para gerar um lote de reatores maior do que a produção anual. Sendo assim possível representar uma carteira de pedidos cheia para um ano inteiro, assim sempre que o primeiro processo, montagem de núcleo (NUC), finalizar um produto ele já iniciará um novo, e nunca estará aguardando uma nova ordem de produção.

Deve ser considerado que a linha dedicada que está sendo simulada não foi implementada e os dados coletados representam os tempos de processo no estado atual, com a fabricação de reatores e transformadores na mesma linha de produção.

A modelo representando da linha de produção para a simulação pode ser visto na figura abaixo.

Figura 3 – Esquema para simulação da linha de produção



Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir deste modelo foram realizadas rodadas piloto e com a análise dos resultados, definido o número necessário de rodadas para atingir o grau de exigência desejado da simulação. Admitindo um nível de significância de 5% e um

erro absoluto de 1 reator a amostra sugerida foi de 232 rodadas, foi então optado para todas as análises deste estudo o número de 250 rodadas, sendo cada rodada um ano completo de produção.

A primeira pergunta que se esperava responder com esta pesquisa era qual seria a capacidade produtiva desta linha, para cada tipo de reator. Em contato com especialistas da área fabril é consenso que a produção de reatores é limitada devido ao mix de produção com transformadores e autotransformadores que são maiores e de fabricação mais lenta. Outras análises que poderiam ser comparadas aos dados atuais da fábrica são:

- Lead time: também chamado de tempo de atravessamento, neste caso é o tempo desde o recebimento do silício cortado na etapa de montagem de núcleo (NUC) até a conclusão da expedição da máquina pronta e testada (EXP).

- Horas de fabricação: é a quantidade de horas homem utilizada durante todos os processos de montagem inseridos no modelo, este parâmetro é utilizado durante o processo de orçamento de um novo projeto para estimar o custo de mão de obra.

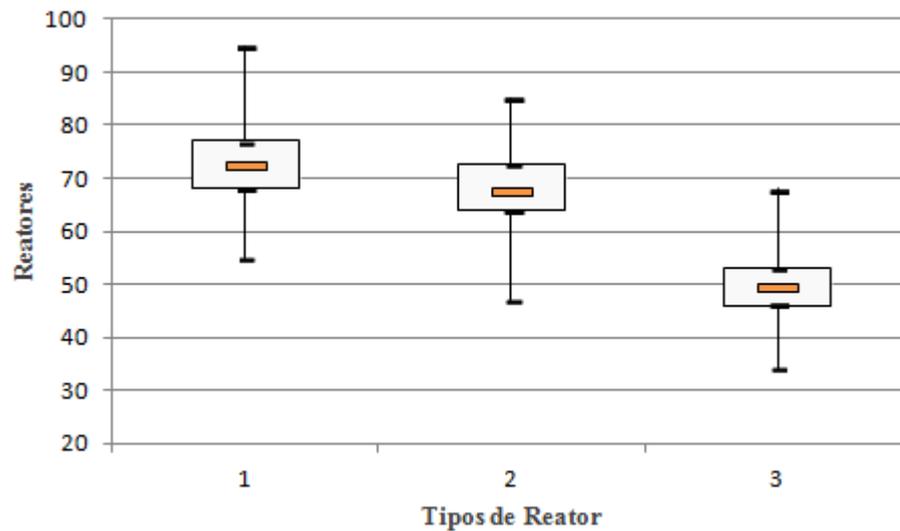
- Tempo de fila: é o tempo de espera do produto entre as etapas do processo, este parâmetro não serve para comparação, mas pode ser um indicador de um gargalo na linha modelada.

Como comentado na coleta de dados a base de tempo de toda simulação é hora homem, então para as análises de fila e lead time é necessário calcular individualmente estes dados para cada etapa conforme o número de operadores respectivo.

## **5 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

O primeiro resultado analisado é a quantidade de reatores fabricados de cada tipo em um ano com a dedicação da linha de produção somente para tal categoria de produto. Este resultado é representado no gráfico 1.

Gráfico 1 - Reatores fabricados



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados da simulação.

A primeira constatação é que considerando a média de cada tipo de reator simulado, o modelo gerou a mesma proporção verificada na coleta de dados. O valor da média total de reatores fabricados em um ano foi de 190 unidades conforme tabela abaixo.

Tabela 4 – Reatores fabricados

Tipo	Reatores	Percentual
1	73	38%
2	68	36%
3	50	26%
<b>Total</b>	<b>190</b>	<b>100%</b>

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados da simulação.

Comparando o resultado acima com a maior fabricação anual desta categoria de reatores, até 70MVAR, que foi 43 unidades em 2013 verifica-se um potencial de aumento da produção de 442% pela redução do lead time e da linha estar dedicada a este produto.

Um aumento de produção desta proporção teria vários impactos que são discutidos no próximo capítulo.

Além desta informação, ainda foram analisadas outras variáveis do processo já citadas na seção anterior, que são apresentadas abaixo também representadas pela média dos valores de cada simulação.

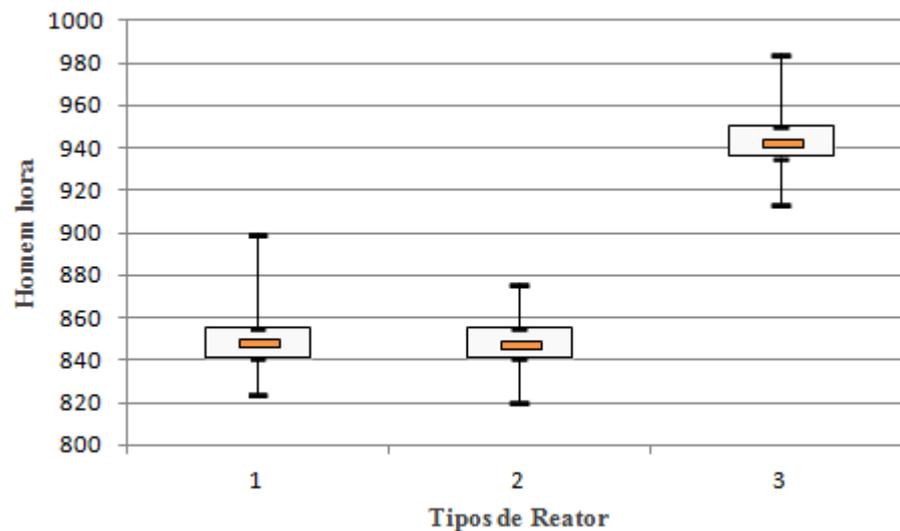
Tabela 5 – Tempos de processo

Tipo	Fabricação (hh)	Lead Time (h)	Lead Time (dias)	Fila (h)
1	848,9	507,3	28,8	5,4
2	848,1	507,5	28,8	5,4
3	943,3	565,4	32,1	2,4

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados da simulação.

O primeiro fator analisado são as horas de fabricação, este como explicado anteriormente, possui vital importância no processo de orçamento de novos projetos, pois o valor da mão de obra representa em média 23% do custo industrial do produto.

Gráfico 2 - Horas de Fabricação

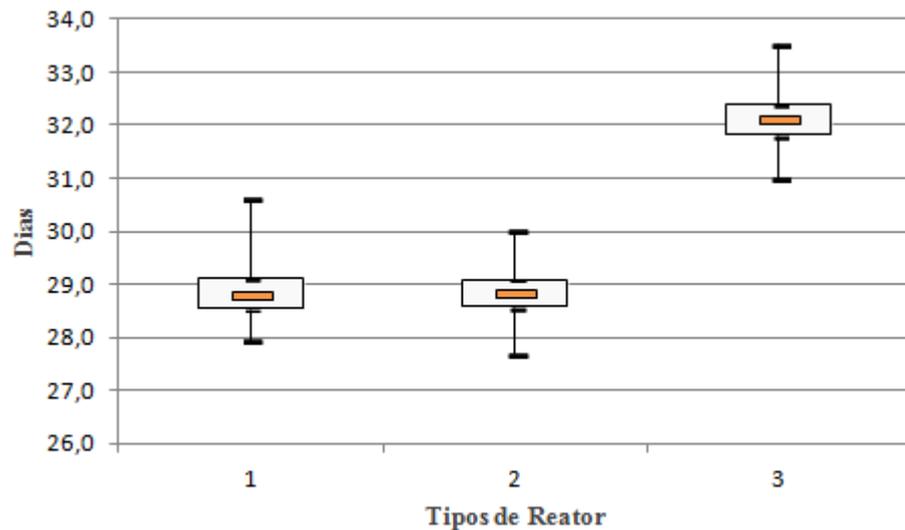


Fonte: Elaborado pelo autor.

Realizando um comparativo com os dados atuais da fábrica, os resultados encontrados não apresentam uma redução nestas horas, pois como já explicado os dados utilizados foram baseados na configuração atual da fábrica. Logo não é esperada uma redução de horas, porém este valor serve como parâmetro para a validação do modelo.

Assim como as horas de fabricação outra variável importante para o orçamento é o lead time, pois ela em conjunto com outras variáveis permite estimar o prazo de entrega de um novo projeto, além de ser um valor essencial para o planejamento da fábrica.

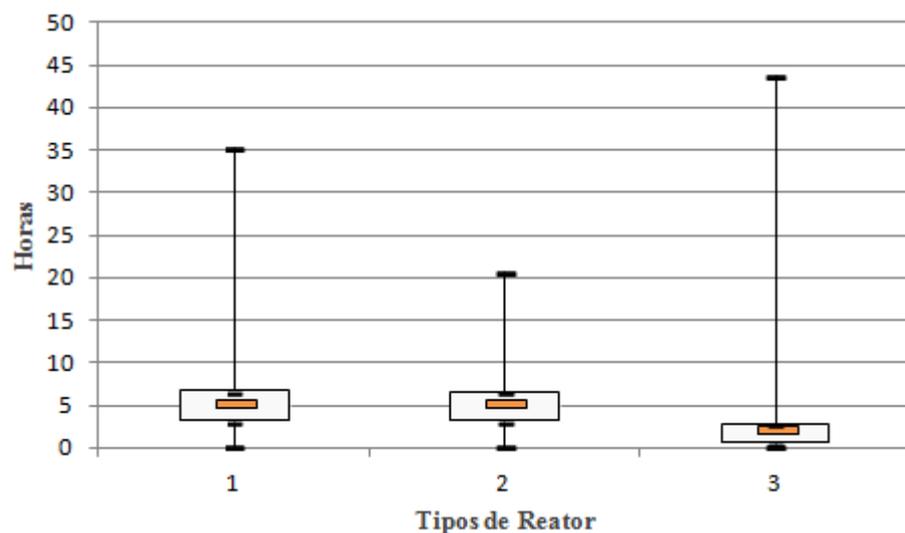
Gráfico 3 - Lead Time



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados apresentados demonstram uma redução média de 57% no Lead Time, aos valores dos dados atuais da fábrica. Esta redução é reflexo terceiro item analisado, o tempo de espera entre processos. Verificou-se que dedicando a linha de produção a produtos mais parecidos e com um tempo de processo com menos variação o tempo de espera ficou em média de 1% do tempo de lead time.

Gráfico 4 - Tempo de Fila entre Etapas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Esta última análise feita na simulação não pode ser comparada com dados atuais da linha de produção da fábrica, pois não existem informações de tempo de fila atualmente na empresa, conforme mencionado anteriormente todos os dados

coletados de tempos de processo foram baseados no apontamento de horas dos funcionários. Durante o tempo que o reator está na fila de uma das etapas não existe nenhum funcionário trabalhando nele naquele momento, portanto não há registro no sistema.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este estudo buscou apresentar uma abordagem científica para uma pergunta normalmente respondida por especialistas da produção de forma subjetiva, a quantidade de reatores que seria possível fabricar em um ano, se fosse separada uma das linhas de produção exclusivamente para isto. O resultado apresentado na seção anterior foi encarado com surpresa pelos especialistas que tiveram acesso a este estudo, porém sabe-se que isto impactaria em uma série de outras análises antes de implementar esta divisão:

- Impacto nos fornecedores internos: o sistema foi simulado considerando a disponibilidade de fornecimento de bobinas e aço silício recortado de forma contínua para a linha de montagem principal. Estes dois componentes são manufaturados dentro da empresa, e assim como o produto final, são fabricados conforme projeto. Uma análise, possivelmente com simulação, destas duas linhas auxiliares seria necessário para dar continuidade do projeto no futuro.
- Impacto nos fornecedores externos: a montagem dos componentes externos do reator, como relés, radiadores, válvulas e outros acessórios são todos adquiridos de fornecedores externos, portanto necessitam de uma estratégia junto a eles caso a demanda venha a aumentar consideravelmente. Apesar de todos estes acessórios serem produzidos em um sistema de produção em série, pois são itens de prateleiras, a verificação mesmo que mais simples de capacidade de fornecimento versus demanda deve ser considerada. O principal problema em relação aos fornecedores externos estará na produção de tanques e armaduras para o núcleo, pois assim como o reator em si estes produtos são manufaturados por projeto. Novamente uma análise semelhante à apresentada neste artigo poderia ser realizada nestas linhas de produção destes fornecedores externos. Ou ainda um estudo comparativo para avaliar a estratégia mais vantajosa entre continuar fabricando os tanques em empresas contratadas ou trazer a produção destes componentes para dentro da fábrica.

- Análise do mercado: é necessário avaliar se o mercado tem demanda para absorver quase 200 reatores/ano. Este seria o ponto mais complicado para prever por ser algo subjetivo que leva em consideração fatores políticos, investimentos do governo, investimentos privados, e uma série de suposições de mercado de difícil previsão. Neste caso o setor estratégico da empresa deve analisar o mercado atual e a previsão existente para o futuro, para assim decidir o risco que estaria proposto em assumir.
- Redução de custo: caso durante a análise acima se constate que há mercado para absorver a quantidade produzida, o aumento da produtividade demonstrado na simulação representaria um potencial para elevada redução de custo. A diluição dos custos fixos de operação entre os volumes antes produzidos e os volumes apontados na simulação, resultaria em um ganho de competitividade em termos de custos de operação. Isto pode se traduzir em margens de lucro maiores, mantendo-se os mesmos preços atuais, ou manter a margem atual reduzindo o preço e ganhando um diferencial de preço, com possível alavancagem das vendas.
- Especialização dos processos e ferramentas: Conforme já descrito neste trabalho os tempos de produção não levaram em consideração um aumento de produtividade devido à especialização dos operadores em um determinado produto. Este fator refletirá em ambas as linhas de produção da fábrica, a de reator, objeto deste estudo, e conseqüentemente na linha de produção de transformadores, que assim como a de reatores, também teria uma linha mais dedicada a um tipo de produto. Do mesmo modo que os operadores podem se especializar nos processos dedicando as linhas de produção, as ferramentas e dispositivos também podem ser mais otimizadas. Com estes argumentos fica possível considerar a hipótese de esta especialização das tarefas e otimização de ferramentas resultarem em uma conseqüente redução de custos pelo aumento da produtividade.

Estas análises não são simples de se fazer e necessitam de um grupo diversificado de especialistas para tomar tal decisão. Porém é necessário ter conhecimento que não existem custos operacionais para realizar esta divisão das linhas de produção, pois ambas as linhas já existem, do mesmo modo não há a necessidade de compra de novas ferramentas. Portanto outra linha de pensamento para a implementação deste projeto pode ser como uma solução temporária para a fabricação de um grande projeto, ou o conjunto de pequenos lotes de reatores.

Sob a perspectiva do aprendizado a aplicação de modelagem e simulação em um problema vivenciado no mundo real e diário fortaleceu a importância desta ferramenta para tomadas de decisões em ambientes corporativos.

Para propostas de trabalhos futuros ficam os estudos necessários nos fornecedores internos e externos que necessitam ser feitos para a implementação deste projeto.

## REFERÊNCIAS

- AHLERT, Fabiano. C. *Utilização do Mapeamento de Processos e da Simulação Computacional no Auxílio à Tomada de Decisão em um Ambiente Hospitalar: um Estudo Quali-quantitativo*. Dissertação (Mestrado). Unisinos, São Leopoldo, 2010.
- AREVA T&D, *Power Transformers Brochure: Fundamentals*. Vol. 1. Paris, 2008.
- BORBA, Gustavo Severo de. *Desenvolvimento de uma abordagem para a inserção da simulação no setor hospitalar de Porto Alegre*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998. [Dissertação de mestrado – Área: Gerência de Produção].
- BRIGHENTI, J. R. N. *Simulação e otimização de uma linha de manufatura em fase de projeto*. Dissertação (Pós-Graduação) - Federal de Itajubá. Itajubá/MG, 2006.
- CASSEL, Ricardo Augusto. *Desenvolvimento de uma Abordagem Para a Divulgação da simulação no setor Calçadista Gaúcho*. Dissertação de Mestrado (Engenharia da Produção) – UFRGS, Porto Alegre, 1996.
- CHWIF, Leonardo.; MEDINA, Afonso C. *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: teoria & aplicações*. 2. ed. rev. São Paulo: Ed. Do Autor, 2007.
- DURÁN, O.; BATOCCHIO, A. Na direção da manufatura enxuta através da J4000 e o LEM. *Revista Produção on-line*. Vol. 3 / Num. 2. Santa Catarina 2003. Maio 2003. Disponível em: <<http://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/619/657>> ISSN 1676 – 1901.
- GOGG, T. J., MOTT, J. R. A. *Improve quality & productivity with simulation*. Third edition, JMI, 1996.
- LAW, A. M.; KELTON, W. D. *Simulation modeling and analysis*. Third edition, McGraw Hill, Boston, 2000.
- MCHANEY, R. *Computer simulation – A Practical Perspective*. Academic press, inc. San Diego, CA, 1991.
- PIDD, Michael. *Modelagem empresarial: ferramentas para tomada de decisão*. Porto Alegre: Bookman, 1998.

PERGHER, I.; VACCARO, G. L. R. Determinação da capacidade produtiva de uma empresa de alimentos por meio da aplicação da simulação computacional. Artigo. *Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística Marinha – SPOLM*, Rio de Janeiro/RJ, 2009.