



REVISTA CIENTÍFICA DA UMC

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE POLIMERIZAÇÃO EM EMULSÃO DA POLIACRILAMIDA ATRAVÉS DA ENERGIA TÉRMICA LIBERADA****OPTIMIZATION OF POLYACRYLAMIDE EMULSION POLYMERIZATION PROCESS THROUGH THERMAL ENERGY RELEASED**

Anna Flávia Yumi Tajiri Imada, Thiago Rinaldi, Marcio Luis Balbino, Letícia Lucon Bellucci, Angel Moreno

**Resumo:**

O presente trabalho teve como propósito elaborar uma metodologia baseada em conceitos de troca térmica para otimizar o processo de polimerização, visando principalmente a redução do tempo operacional do reator e a substituição do controle da conversão da reação pelo controlador térmico. Para realizar os estudos, foi utilizado o equipamento denominado *BTU Meter* que, baseado nas condições de operação do reator, gera dados em BTU (*British Thermal Unit*) da reação exotérmica. Correlacionando estes dados com o grau de conversão da reação, o método possibilitou analisar o comportamento das reações de polimerização e prever o desempenho do processo de produção. Com a implementação da metodologia, houve melhoria no processo de controle das bateladas, redução de análises em laboratório, redução do custo operacional por batelada, aumento da disponibilidade do reator para novas bateladas aumentando assim a capacidade produtiva da empresa sem a adição de mão de obra.

**Palavras-chave:** CLP; monômero; transformação química; entalpia de polimerização.

**Abstract:**

The purpose of the present article was to develop a methodology based on thermal exchange concepts to optimize the polymerization process, aiming mainly at reducing the reactor operational time and the replacing the reaction conversion control by a thermal controller. To carry out the studies, the equipment called *BTU Meter* used, which, based on the reactor's operating conditions, generates data in BTU (*British thermal unit*) of the exothermic reaction. Correlating these data with the degree of conversion of the reaction, the method made it possible to analyze the behavior of the polymerization reactions and to predict the performance of the production process. With the implementation of this methodology, there was an improvement in the batch control process, reduction of laboratory analyzes, reduction of the operational cost per batch, increased availability of the reactor for new batches, thus increasing the company's productive capacity without the addition of labor.

**Keywords:** PLC; monomer; chemical transformation; enthalpy of polymerization.

## Introdução

Na atualidade a concorrência obriga as empresas a buscarem meios de reduzir o custo de suas operações internas otimizando processos ou eliminando inspeções e intervenções da mão de obra especializada da companhia, pois estas intervenções agregam um custo adicional que se não previsto na precificação do produto poderá afetar a eficiência e a estratégia competitiva, podendo inviabilizar a comercialização do mesmo no mercado. (CHOPRA & MEINDL, 2011, pp. 20-34)

A indústria onde o estudo foi realizado produz aditivos para tratamento de águas e efluentes industriais baseados em derivados do petróleo. O controle de qualidade e a liberação das bateladas são realizados no laboratório e demandam mão de obra especializada.

Na metodologia atual, durante a produção, a operação aguarda o resultado da análise que gerencia o processo. Há um *lead time* de 1 hora para a realização de cada análise, ou seja, após atingido o rendimento da transformação desejada e especificada no reator o produto aguarda 1 hora para ser considerado finalizado (dentro do reator demandando toda a atenção dos operadores), vale ressaltar que apesar de haver uma média de tempo em reator, devido às variações inerentes do processo, são realizadas ao menos 4 análises por lote. Assim, são utilizadas entre 4 e 6 horas do laboratório (que em termos de custo abrange o valor por hora dos analistas, da chefia e gerência do laboratório bem como os itens de consumo para operação do mesmo). É um investimento alto que tem como objetivo garantir que o cliente receberá o aditivo com o percentual correto de residual do monômero não transformado.

O objetivo do presente trabalho é introduzir um controle térmico na fabricação de polímeros buscando a redução do tempo em processo no reator e no número de análises realizadas em laboratório. A redução do tempo em processo impacta na disponibilidade do equipamento para novas bateladas e promove a diluição do custo de operação global (custo da hora de trabalho dos operadores, laboratoristas, redução do consumo de energia, água da serpentina, nitrogênio, ar comprimido, etc. vs. o nº de bateladas realizadas em um mês de produção) do equipamento. (Japão Patente Nº 4742472, 1988)

Há apenas uma forma de melhorar continuamente os processos produtivos e esta forma é o conhecimento sobre o mesmo com a retroalimentação, por exemplo.

Infelizmente vivemos tempos onde muitas vezes as pessoas envolvidas em um determinado processo não fazem ideia do objetivo final, da aplicação do produto ou mesmo da necessidade do próximo processo. Neste cenário, por vezes, muita energia é direcionada para a correção de falhas e pouco tempo é investido na melhoria ou na previsão dos problemas. Que esta semente encontre em você leitor um terreno fértil para crescer e que nossos processos possam evoluir de forma responsável e científica, boa leitura. (VALERIANO, 1998, p. 25)

## **Metodologia**

Para a visualização do valor preciso de BTU no painel durante o processo de polimerização, foi necessário a realização de ajustes e testes no CLP (Controlador Lógico Programável). Efetuou-se a correção do calor sensível e a verificação dos controladores de temperatura e vazão de entrada e saída da água da serpentina.(Borgnakke – Sonntag, 2013, p 79)

Foi certificado de que todos os itens avaliados estavam dentro dos parâmetros necessários para o início da coleta de dados. Para realizar tal coleta, foi desenvolvido um formulário de acompanhamento do processo produtivo, contemplando os campos para anotação dos valores de BTU, temperatura de entrada e saída da água e vazão de entrada da água. A coleta foi realizada anotando os valores de BTU a cada 10 minutos e / ou a cada intervenção no processo (adição de ar comprimido ou alteração na vazão da água, por exemplo). As amostras foram coletadas a partir dos primeiros 30 minutos de reação e, posteriormente, a cada 30 minutos para verificação da taxa de conversão do polímero.

Para que o processo seja aprovado, a empresa exige que o percentual residual de acrilamida esteja abaixo de 3%, esta especificação foi verificada coletando-se amostras de 100 ml do polímero para realização dos testes, onde utilizou-se uma solução de sulfato de cobre 1%, a qual impediu que a inércia das reações apresentasse resultados de conversão diferentes do real. Após inibição, as amostras foram encaminhadas para o laboratório para a realização das análises do residual de monômero, para obtenção da taxa de conversão.

Como o objetivo foi comprovar a relação de BTU com o residual de acrilamida, houve a necessidade de analisar as bateladas do processo correlacionando os valores de BTU com o resultado da taxa de conversão do laboratório. Após análise, construiu-

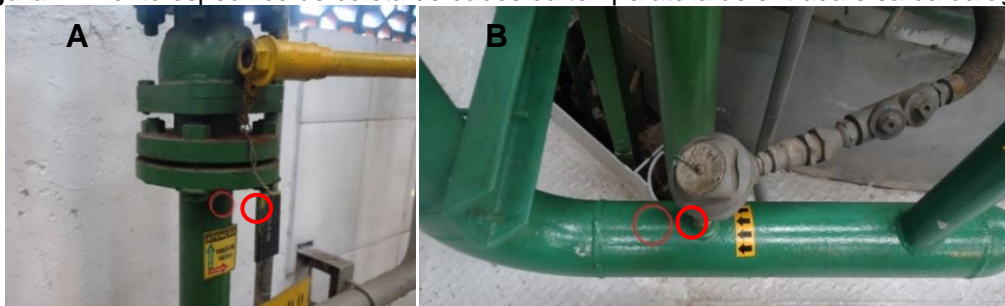
se curvas médias de energia liberada em BTU versus tempo de reação versus grau de polimerização. Os valores (faixa de BTU correspondente à conversão mínima especificada) e o perfil desta curva, foram utilizados como parâmetro para o controle da reação de polimerização. Para validação desta curva, analisou-se a taxa de conversão do polímero no momento em que a curva obtida indicou estabilização.

Após a introdução do controle térmico no processo de fabricação, foi realizado um levantamento dos custos envolvidos. Estimou-se a redução do custo laboratorial pela diferença entre a quantidade de análises anterior e a quantidade de análises após a otimização. Já para a redução dos custos de processo, analisou-se o tempo de operação reduzido e demais impacto.

A preparação da coleta de dados foi iniciada conforme a programação de produção dos polímeros da empresa. Deve-se ressaltar que a programação varia de acordo com a demanda do mercado não havendo previsão a longo prazo. Por este motivo, foram acompanhados dois polímeros durante o trabalho, o polímero A, que obteve poucas bateladas, e o polímero B. Vale destacar que ambos os polímeros possuem o mesmo processo de fabricação e utilizam o mesmo monômero, acrilamida, alterando apenas algumas propriedades finais de acordo com a aplicação.

Para confiabilidade dos dados calculados pelo CLP, mediu-se a temperatura de entrada e saída da água do sistema de refrigeração em um ponto específico na tubulação de alimentação principal e saída principal da água, como mostra a figura 1, com um pirômetro devidamente calibrado. Além disso, foi coletado a vazão de água de acordo com o indicador de fluxo mostrado na figura 2.

**Figura 1** - Ponto específico de coleta de dados da temperatura de entrada e saída da água.



A – Ponto de medição de temperatura na linha principal de alimentação de água; B – ponto de medição de temperatura na linha principal de saída de água.

**Figura 2** - Indicador e controlador de vazão da água de resfriamento.



Para uma análise geral do sistema, coletou-se também as temperaturas internas do reator para averiguar estabilidade térmica e posição da válvula de entrada e saída da água de resfriamento das duas serpentinas, sendo todas as variáveis coletadas a cada 10 minutos juntamente com os valores do *BTU Meter*.

Durante os estudos, 6 bateladas foram acompanhadas conforme a demanda e programação da fábrica. Os horários em que algumas bateladas foram processadas, também afetou a coleta de dados, já que a planta opera 24 horas por dia, impossibilitando o acompanhamento e a coleta de amostras no terceiro turno.

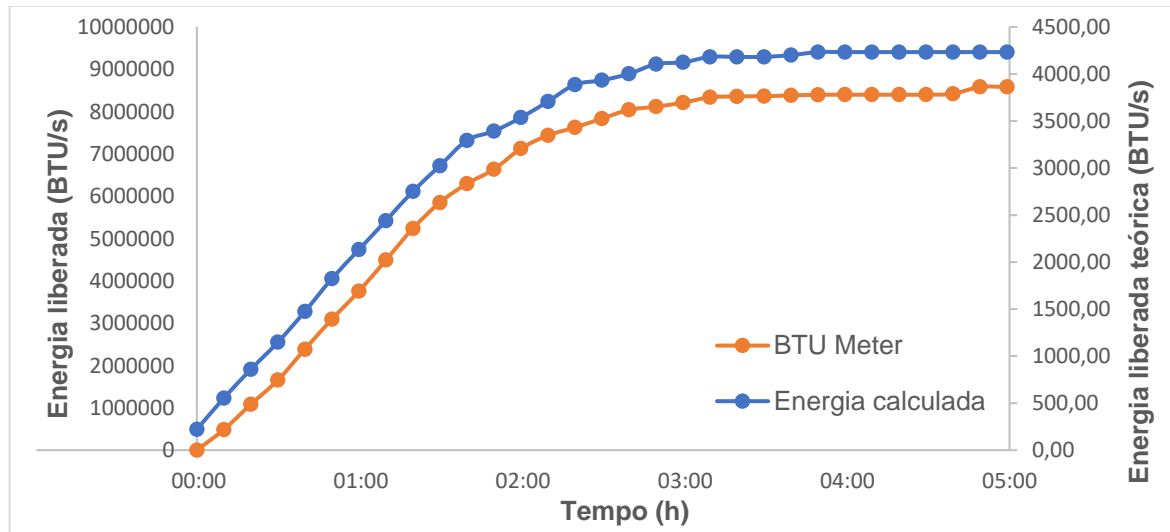
## **Resultados e discussão de dados**

O objetivo das análises foi gerar um comparativo entre o valor de BTU liberado (interpretação da curva de liberação de energia) e a taxa real de conversão, ou seja, verificar se a reação terminaria na mesma hora onde o gráfico de liberação de energia indica o início da sua estabilização.

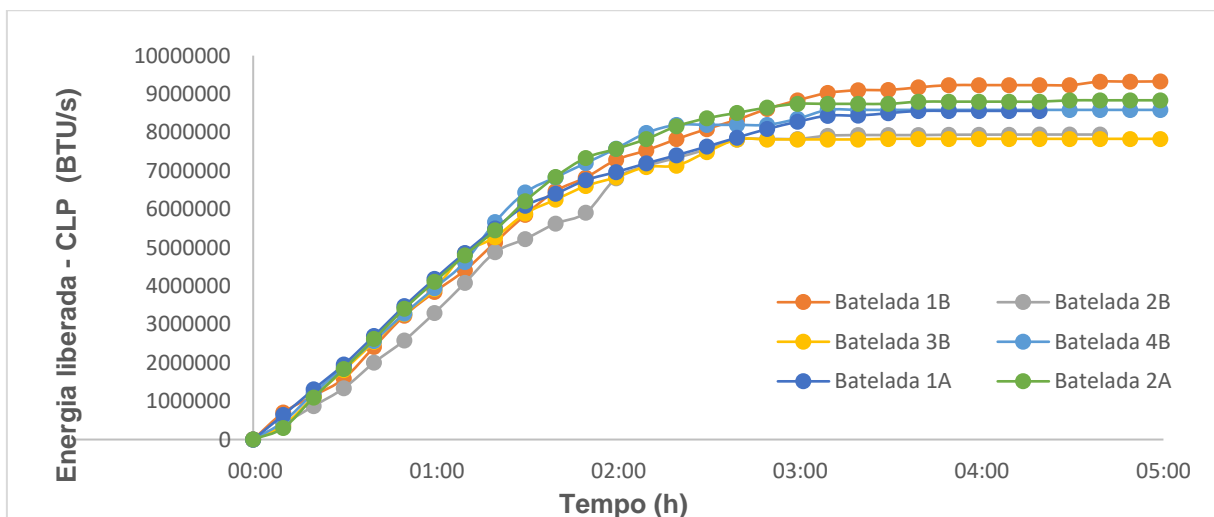
Com base nos resultados obtidos, podemos observar que apesar de haver diferença entre as escalas obtidas entre o *BTU Meter* e os cálculos realizados, conclui-se que há semelhança no comportamento das curvas, como mostra o gráfico 1 que associa os valores médios do *BTU Meter* com os valores médios calculados de quatro bateladas. Além disso, analisando o gráfico 2, pode-se afirmar que há uma tendência de comportamento da energia liberada em cada batelada analisada, considerando o polímero A e B. (SPowerZ, 2011)

Esta tendência indica que desconsiderando esta diferença na escala dos resultados, o projetado se repete no resultado real, sendo assim, é possível prever o comportamento da energia liberada ao longo da polimerização.

**Gráfico 1** – Comparação entre as médias de energia liberada calculada versus equipamento *BTU Meter* durante a reação de polimerização



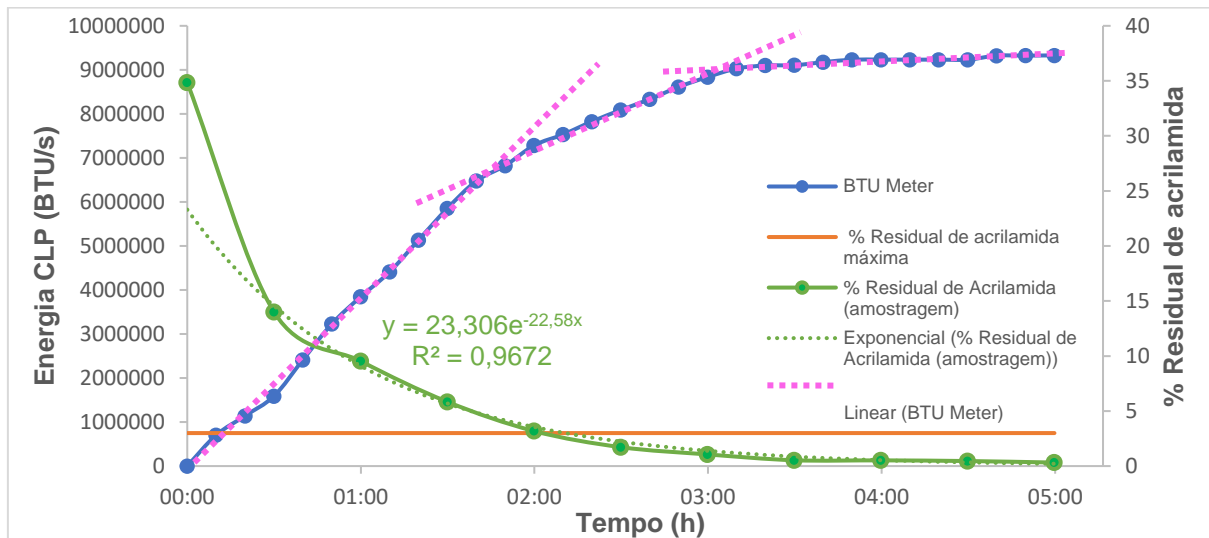
**Gráfico 2** – Comportamento da energia liberada em BTU de todas as reações de polimerização acompanhada.



Utilizando as bateladas 1B e 2B como base de dados para o nosso projeto, foi possível relacionar os seguintes dados, como mostra os gráficos 3 e 4, respectivamente.

Sendo o requisito da empresa ter residual máximo de monômero  $\leq 3\%$  no batch, para determinar o horário mais exato que o processo poderia ser finalizado, deve-se aplicar uma linha de tendência na curva de % Residual de Acrilamida para que obtenhamos a equação da curva, assim, tendo como um dos valores iguais a 3 (no caso y), podemos calcular o valor de x que equivale ao tempo decorrido para atingir a especificação da empresa

**Gráfico 3** – Comparação entre os valores do BTU Meter, residual de monômero e porcentagem mínima final de monômero da batelada 1B.



$$y = 23,306e^{-22,58x}$$

$$3 = 23,306e^{-22,58x}$$

$$x = 0,0908$$

A unidade de x estará de acordo com o intervalo de tempo do gráfico (0,0417), sendo assim, deve-se converter para o “tempo real”.

Se para cada 10 minutos de reação equivale ao valor de 0,00695 no Excel, para 0,0908 o tempo real correspondente equivale à 130,63 minutos, ou seja, 2,2 horas de reação  $\cong$  2 horas e 15 minutos. Vale ressaltar que este tempo determinado corresponde à curva de tendência e que, observando a curva real das análises é possível afirmar que o tempo em que atingiu 3% de residual de acrilamida foi depois das 2h00 e antes das 2h15min.

Logo, para este caso, a operação manteve a batelada com a durabilidade de 5 horas, pode-se afirmar que haveria uma redução de tempo de reator em 56% caso o processo parasse em 2 horas e 15 minutos.

$$\frac{5 \text{ horas} - 2,2 \text{ horas}}{5 \text{ horas}} = 0,56 = 56\%$$

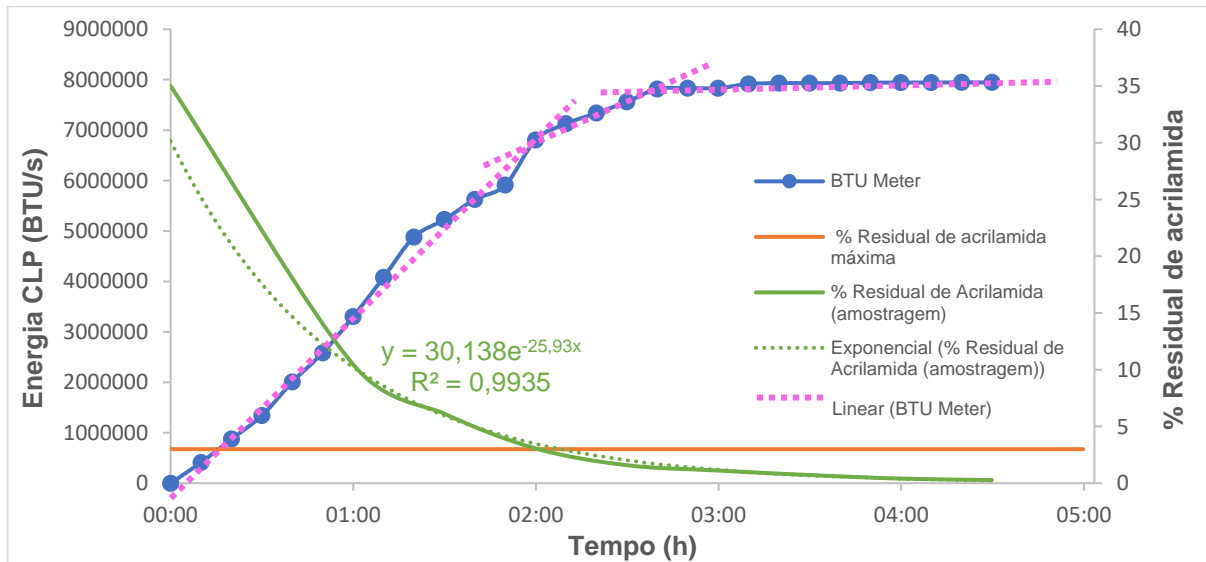
Além disso, nota-se que o valor de  $R^2$  é igual a 0,9672, ou seja, pode-se afirmar que é um valor admissível pois os dados operacionais estão propensos a seguir tendência da curva padrão.

No procedimento da empresa, foi realizada 1 amostragem durante esta fabricação, sendo esta efetuada na 4ª hora de reator, e que, portanto, a reação foi

finalizada na 5ª hora de reator devido ao *lead time* de 1 hora de análise.

Considerando a primeira análise da batelada 1B, nota-se que o comportamento dos dados da batelada 2B possuem as mesmas características, conforme mostra o gráfico 4.

**Gráfico 4** – Comparação entre os valores do BTU Meter, residual de monômero e porcentagem mínima final de monômero da batelada 2B.



Para esta batelada, teremos:

$$y = 30,138e^{-25,93x}$$

$$3 = 30,138e^{-25,93x}$$

$$x = 0,0889$$

Logo, a reação teria um tempo espacial de 128,024 minutos, equivalendo a 2,13 horas  $\cong$  2 horas e 8 minutos, de acordo com a equação de tendência.

Portanto, a redução de tempo de reator para este caso foi igual a 54%, como mostra os cálculos a seguir:

$$\frac{4,67 \text{ horas} - 2,13 \text{ horas}}{4,67 \text{ horas}} = 0,54 = 54\%$$

Para este caso, nota-se que o valor de  $R^2$  é igual a 0,9935, ou seja, pode-se afirmar que é um valor mais admissível em relação à 2ª batelada, pois, os dados operacionais estão mais propensos a seguir tendência da curva padrão.

Para este caso, é válido o mesmo raciocínio, este tempo determinado corresponde à curva de tendência e que, observando a curva real das análises, é possível afirmar que o tempo em que atingiu 3% de residual de acrilamida foi depois

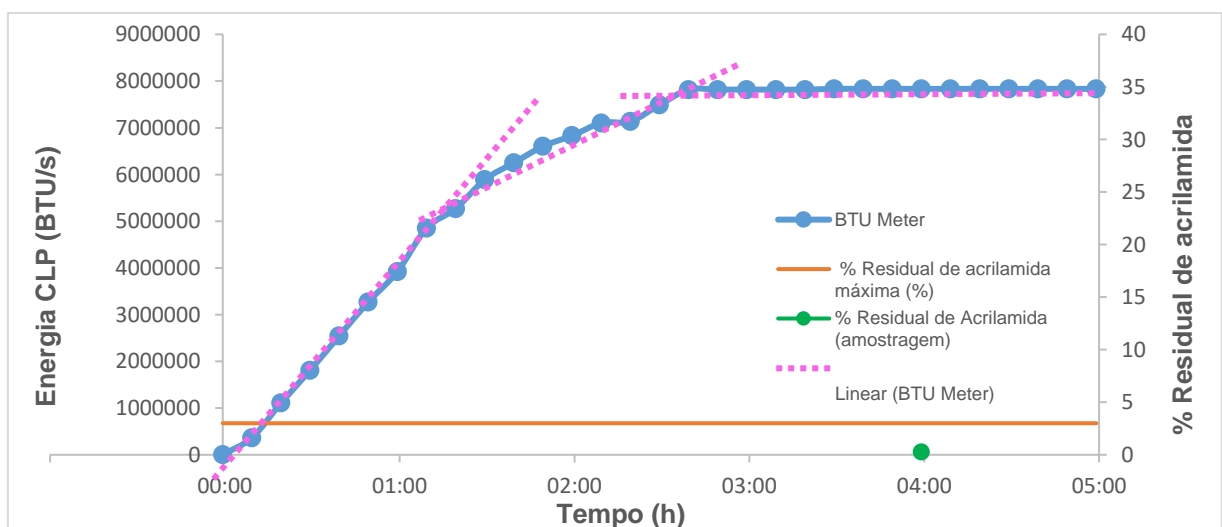


das 2h00, de acordo as análises reais e antes das 2h08min de acordo com a equação de tendência.

No procedimento da empresa, foi realizada 1 amostragem durante esta fabricação, sendo esta efetuada após 3 horas e 40 min de reação, e que, portanto, a reação foi finalizada 4 horas e 40 min de reator devido ao *lead time* de 1 hora de análise.

Na batelada 3B não foram realizadas amostragem de 30 em 30 minutos devido ao período em que a produção ocorreu (início às 00:15 da manhã). Entretanto, para verificar o comportamento dos dados de BTU, as análises foram elaboradas assim como foram realizadas nas primeiras bateladas. Ainda que a curva residual de acrilamida de amostragem não esteja nos estudos, podemos verificar no gráfico 5 que a tendência das três inclinações rosas se mantiveram.

**Gráfico 5** - Comparação entre os valores do BTU Meter, residual de monômero e porcentagem mínima final de monômero da batelada 3B.



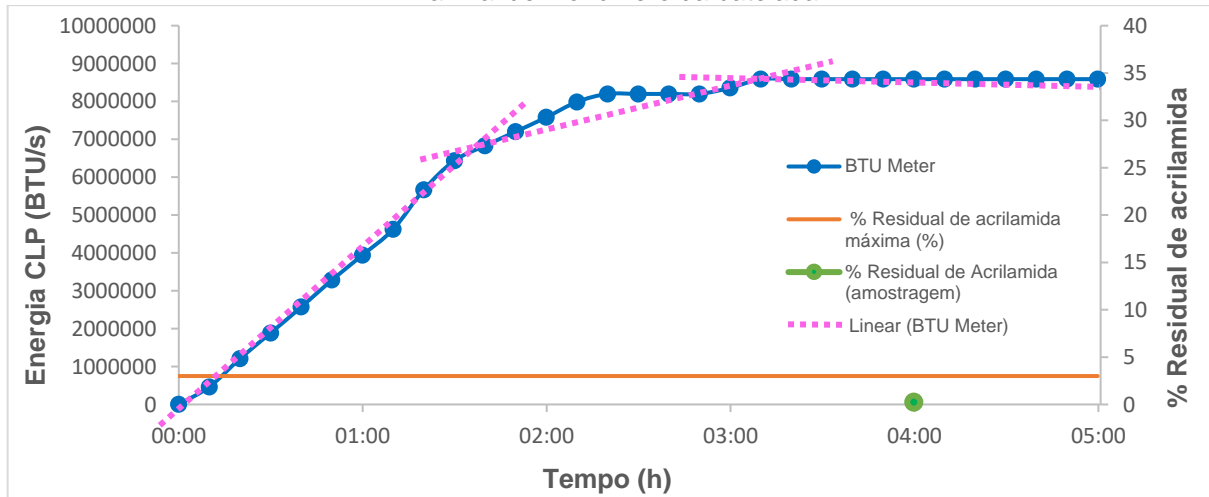
No procedimento da empresa foi realizada 1 amostragem durante esta fabricação da 4ª hora de reação (ponto verde no gráfico 5), portanto, foi finalizado na 5ª hora de reação devido ao *lead time* de 1 hora de análise. O resultado da amostragem de 4 horas de reação foi de 0,26% de Residual de Acrilamida.

Analisando o comportamento das linhas pontilhadas rosas no gráfico anterior, é possível afirmar que o processo poderia ser paralisado antes das 3 horas de reação, já que os valores de BTU mantiveram constantes. Se considerarmos os dados das bateladas 1B e 2B que foram apresentados anteriormente, pode-se deduzir que a

percentagem residual de acrilamida era menor que 3% as 2 horas 30 min após o início da reação.

A batelada 4B também ocorreu no terceiro turno, início às 00:15 da manhã, e por isso, não foram realizadas amostragens de 30 em 30 minutos, mas assim como a batelada 3B mostrada no gráfico anterior, o gráfico 6 mostra o mesmo comportamento.

**Gráfico 6** - Comparação entre os valores do BTU Meter, residual de monômero e porcentagem mínima final de monômero da batelada 4B.



No procedimento da empresa foi realizada 1 amostragem durante esta fabricação da 4ª hora de reação, portanto, foi finalizado na 5ª hora de reação devido ao *lead time* de 1 hora de análise. O resultado da amostragem de 4 horas de reação foi de 0,23% de residual de acrilamida. Assim como foi estimado na análise da batelada 3B, pode-se afirmar a batelada 4B também poderia ser paralisada após 3 horas de reator, conforme a estabilização energética.

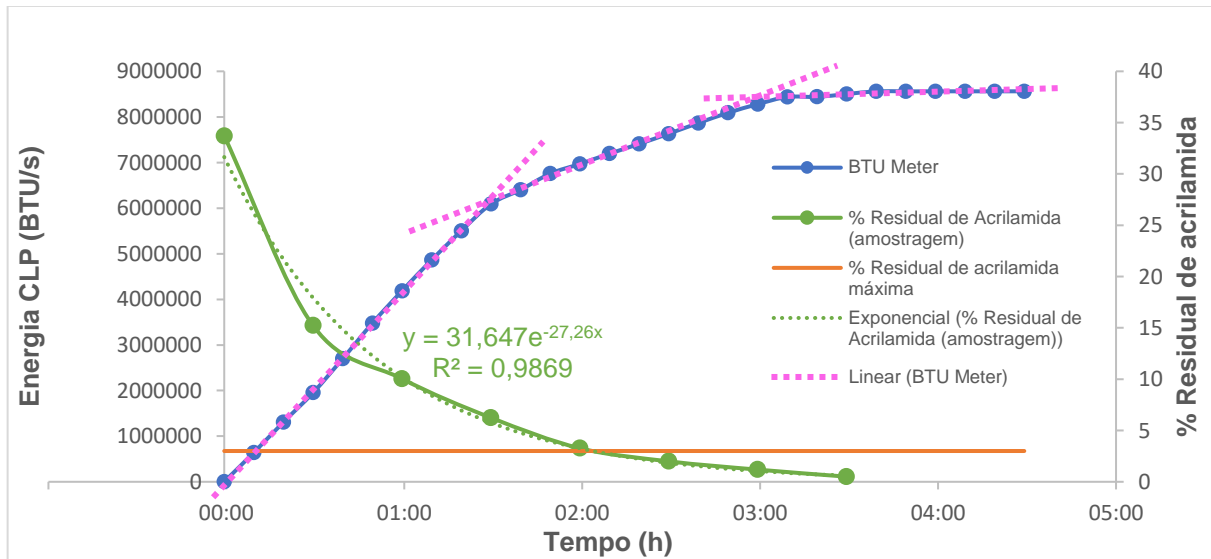
Analisando os dados do polímero A, pode-se afirmar que as tendências e conclusões são semelhantes ao do polímero B, como mostra os gráficos e os cálculos das bateladas 1 e 2 do polímero A.

Logo, a reação teria um tempo espacial de 124,357 minutos, equivalendo a 2,07 horas  $\cong$  2 horas e 5 minutos, de acordo com a equação de tendência.

Portanto, a redução de tempo de reator para este caso foi igual a 54%, como mostra os cálculos a seguir:

$$\frac{4,5 \text{ horas} - 2,07 \text{ horas}}{4,5 \text{ horas}} = 0,54 = 54\%$$

**Gráfico 7** - Comparação entre os valores do BTU Meter, residual de monômero e porcentagem máxima final de monômero da batelada 1A.



Para esta batelada, teremos:

$$y = 31,6471e^{-27,28328x}$$

$$3 = 31,6471e^{-27,28328x}$$

$$x = 0,08643$$

Para este caso, nota-se que o valor de  $R^2$  é igual a 0,99364, ou seja, pode-se afirmar que é um valor mais admissível pois, os dados operacionais estão mais propensos a seguir tendência da curva padrão.

Neste caso, é válido o mesmo raciocínio, o tempo determinado corresponde à curva de tendência e que, observando a curva real das análises, é possível afirmar que o período para atingir 3% de resíduo de acrilamida é depois das 2h00 de acordo com as análises reais e antes das 2h05 min de acordo com a equação de tendência.

No procedimento da empresa, foi realizada 1 amostragem durante esta fabricação, sendo esta efetuada após 4 horas e 30 min, e que, portanto, a reação foi finalizada após 5 horas e 30 min de reator devido ao *lead time* de 1 hora de análise.

Para esta batelada, teremos:

$$y = 29,198 e^{-24,89x}$$

$$3 = 29,198 e^{-24,89x}$$

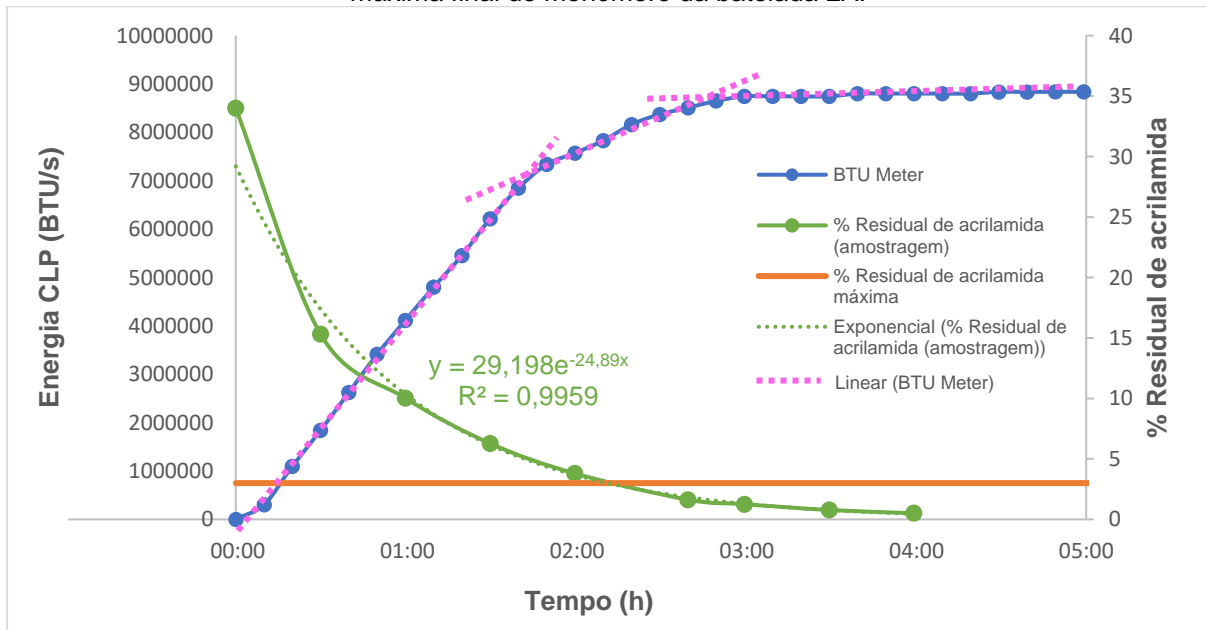
$$x = 0,0914$$

Logo, a reação teria um tempo espacial de 131,54 minutos, equivalendo a 2,193 horas  $\cong$  2 horas e 11 minutos, de acordo com a equação de tendência.

Portanto, a redução de tempo de reator para este caso foi igual a 57,8%, como mostra os cálculos a seguir:

$$\frac{5,2 \text{ horas} - 2,193 \text{ horas}}{5,2 \text{ horas}} = 0,578 = 57,8\%$$

**Gráfico 8** - Comparação entre os valores do BTU Meter, residual de monômero e porcentagem máxima final de monômero da batelada 2A.



Para este caso, nota-se que o valor de  $R^2$  é igual a 0,9959, ou seja, pode-se afirmar que é um valor mais admissível pois, os dados operacionais estão mais propensos a seguir tendência da curva padrão.

Para este caso, é válido o mesmo raciocínio, este tempo determinado corresponde à curva de tendência e que, observando a curva real das análises, é possível afirmar que o período para atingir 3% de residual de acrilamida é depois das 2h00, de acordo as análises reais e antes das 2h11 min de acordo com a equação de tendência da amostragem.

No procedimento da empresa, foi realizada 1 amostragem durante esta fabricação, sendo esta efetuada na 4ª hora de reator, e que, portanto, a reação foi finalizada na 5ª hora de reator devido ao *lead time* de 1 hora de análise.

Comparando as inclinações das curvas de BTU das bateladas do polímero B, foi possível classificar as três curvas de tendência (pontilhada rosa) pela faixa de energia e tempo para cada batelada, apresentadas na tabela 1.

Analisando estes intervalos, pode-se afirmar que o processo pode ser finalizado antes de estabilizar a quantidade de energia liberada, pois, as bateladas acompanhadas poderiam ser paradas depois da segunda hora de reação, ou seja, no início da segunda inclinação da curva.

**Tabela 1** - Análise das inclinações das curvas de BTU do CLP

Batches	Inclinação 1		Inclinação 2		Reta (estabilização)	
	BTU	Tempo	BTU	Tempo	BTU	Tempo
1ºBatch	0 – 6477008	0h – 1h50	6477008 - 9028817	1h50 – 3h10	9028817 – 9329246	3h10 – 5h00
2ºBatch	0 – 6806867	0h – 2h00	6806867 - 7814837	2h00 – 2h40	7814837 – 7944819	2h40 – 5h00
3ºBatch	0 – 5889630	0h – 1h30	5889630 - 7818116	1h30 – 2h40	7818116 – 7833231	2h40 – 5h00
4ºBatch	0 – 6831395	0h – 1h40	6831395 - 8587370	1h40 – 3h10	8587370 - 8587370	3h10 – 5h00

Para quantificar a segunda inclinação, para todas as bateladas, foram elaborados gráficos a cada três dados coletados, enfatizando os dados próximos ao ponto onde se atinge o requisito de 3% residual de acrilamida. Em todas as retas construídas foi verificado o coeficiente de inclinação de cada equação da linha de tendência desses três pontos. Os coeficientes de inclinação da primeira inclinação da curva do gráfico 7 são acima ou próximos de 100, como mostra os gráficos 9.

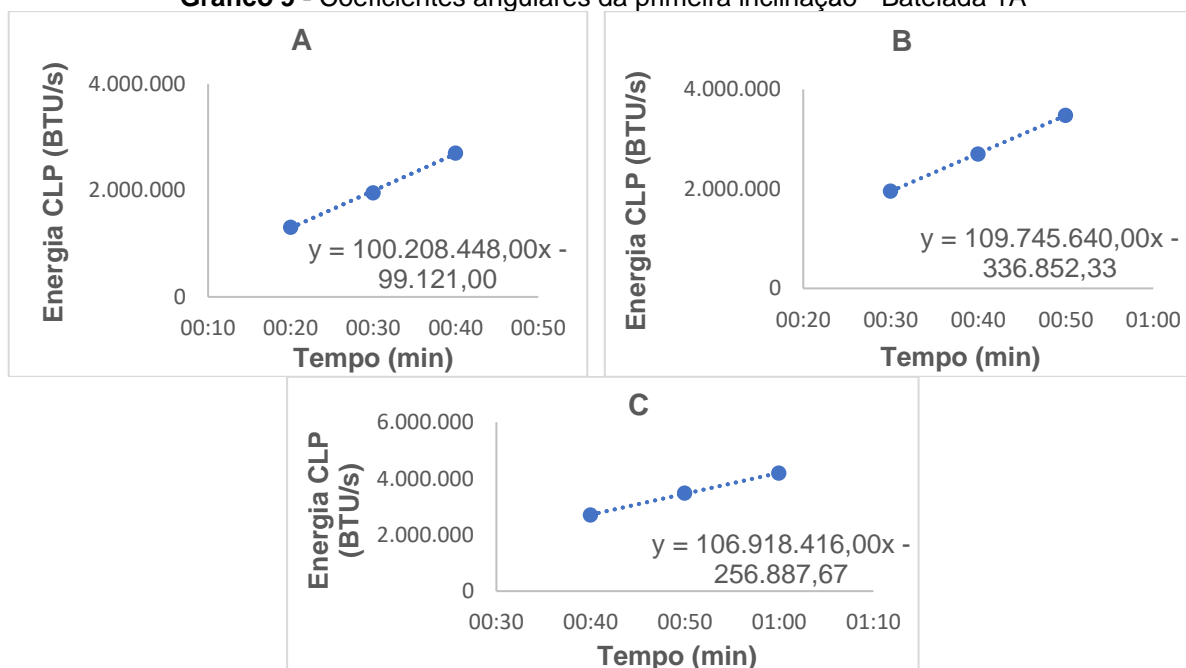
**Gráfico 9** - Coeficientes angulares da primeira inclinação - Batelada 1A

Gráfico A – Valores de BTU nos tempos 20, 30 e 40 minutos após o início da reação; Gráfico B – Valores de BTU nos tempos 30, 40 e 50 minutos após o início da reação; Gráfico C - Valores de BTU nos tempos 40, 50 e 60 minutos após o início da reação.

Já os coeficientes da segunda inclinação estão próximos dos valores entre 30 e 40, como mostra os gráficos a seguir. De acordo com o comportamento da curva elaborada no gráfico 7, o valor da inclinação da primeira reta será maior e em seguida

será reduzida (segunda inclinação) até permanecer uma constante (terceira reta), ou seja, valor igual a zero.

**Gráfico 10 - Coeficientes angulares da segunda inclinação - Batelada 1A**

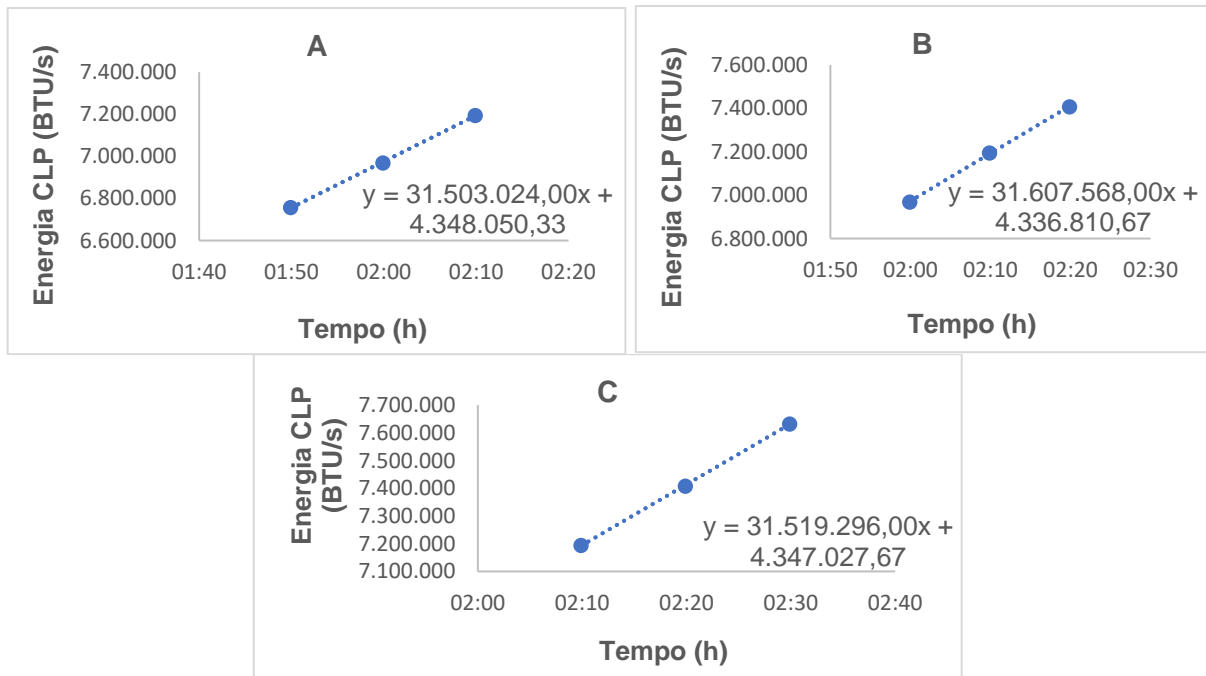


Gráfico A – Valores de BTU nos tempos 1h 50, 2h00 e 2h10 após o início da reação; Gráfico B – Valores de BTU nos tempos 2h00, 2h10 e 2h20 após o início da reação; Gráfico C - Valores de BTU nos tempos 2h10, 2h20 e 2h30 após o início da reação.

Para todas as bateladas monitoradas, do polímero A e B, os valores dos coeficientes angulares resultaram em valores próximos à primeira batelada do polímero A apresentados nos gráficos.

Logo, foi possível determinar uma faixa para o alfa da inclinação da curva mediante as análises das equações das retas, sendo a especificação do alfa < 40. Sendo assim, pode-se dizer que quando a inclinação da reta é reduzida, valor menor que 40, após a segunda hora de reação, a carga processada já atende a especificação.

Com base nos resultados obtidos, os custos envolvidos no processo foram identificados e desta forma foi realizada análise dos impactos da alteração em termos de custo/batelada, disponibilidade do equipamento e aumento da capacidade produtiva.

Sobre as reduções de custo de operação foram observados a redução de 2 horas do tempo de operação em reator, desta forma, o processo completo é reduzido de 16 horas para 14 horas. Essas duas horas representam a redução no número de amostras analisadas, de 3 para 1 amostra durante a batelada, redução de 61,74 % do

custo por batelada, aumento do número de 1,50 para 1,71 batelada/dia, aumento de 14,29% na disponibilidade do reator para processo, aumento na capacidade mensal de fabricação do reator de 337,5 toneladas/mês possíveis para 385,7 toneladas/mês. Houve um impacto no aumento da capacidade mensal em 48 toneladas, equivalente a um acumulado de 578,6 toneladas no ano e havendo assim a diluição dos custos fixos da planta devido ao aumento da capacidade produtiva sem o aumento de mão de obra.

## **Conclusão**

Analisando os dados obtidos, não é possível afirmar que existe uma faixa de valores em BTU que corresponda ao percentual máximo de acrilamida, contudo, com base na inclinação das curvas obtidas e analisadas é possível aproximar o estágio da reação em que se encontra a transformação do monômero.

Após levantamento e tratamento de dados como foi apresentado, é possível eliminar algumas análises no laboratório. Todas as análises realizadas antes do início da segunda inclinação da curva podem ser reduzidas.

Sendo assim, analisando os dados obtidos, é possível concluir que este reator analisado pode parar avanço da reação após a terceira hora de operação, podemos afirmar que será obtido valor residual do monômero acrilamida inferior à 3% especificado. Conseqüentemente reduzindo em cerca de 2 horas a operação deste reator a cada batelada.

Com um investimento relativamente baixo, visto que a empresa possuía a estrutura para coleta dos dados em BTU, foi possível obter um retorno significativo, traduzido em menos horas de trabalho agregadas a cada produção. O reator fica disponível para um número maior de cargas dentro de um mês, o laboratório reduz o número de análises realizadas para o processo por batelada e pode dar atenção a outros temas como desenvolvimento de novos produtos, melhorias, etc.

Desta forma, o ganho e o aumento da competitividade para estes processos são reais e possíveis. A inovação apresentada no processo depende do empenho da empresa em criar uma base de dados confiável para elaborar suas especificações e alimentar esta base de dados em um acompanhamento contínuo ao longo do processo.

## Referências Bibliográficas

CHOPRA, S., MEINDL, P. **Gestão da Cadeia de Suprimentos: Estratégia, Planejamento e Operações** (4ª ed.). São Paulo: Pearson, 2011;

SLACK, N., CHAMBERS, S., JOHNSTON, R. **Administração da Produção** (3ª ed.). São Paulo: Atlas, 2009;

SUGIMORI, T., SUZUKI, F., FUKAHORI, N. **Method and Apparatus for Controlling Polymerization Reaction**. Japão Patente Nº 4742472, 1988;

VALERIANO, D. L. **Gerência em Projetos: Pesquisa, Desenvolvimento e Engenharia**. São Paulo: Makron Books, 1998.

Física, S. **Transmissão de Calor**, 2009. Disponível em Só Física: <<https://www.sofisica.com.br/conteudos/Termologia/Calorimetria/transm.php>>.

SPowerZ. **BTU Measurement System**, 2011. Disponível em SPowerZ: <<http://www.spowerz.com/download/SPZ`BTUMETER.pdf>>.