



**Universidade Federal de Santa Maria – UFSM**  
**Educação a Distância da UFSM – EAD**  
**Universidade Aberta do Brasil – UAB**

**Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos**  
**Processos Produtivos**

**Polo: Panambi**

**ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EXTRUSORAS TIPO RAM**  
**PARA POLIETILENO DE ULTRA-ALTO PESO MOLECULAR**

LYSYK, Gefferson<sup>1</sup>

HOFFMANN, Ronaldo<sup>2</sup>

MAYER, Flávio Dias<sup>3</sup>

**RESUMO**

A obtenção de chapas de polietileno de ultra-alto peso molecular PEUAPM é um processo complicado em função da natureza do material, que faz com que a única forma de extrusão do material seja através de compressão à alta temperatura, processo conhecido como “*Ram extrusion*”. Sabemos que pressão e temperatura altas geralmente resultam em altas perdas de energia, e é um grande desafio de engenharia trabalhar no sentido de diminuir a energia dissipada neste processo. Este trabalho estudou alternativas, e a partir disso propôs técnicas de eficiência energética para melhorar o desempenho geral no processo. As medidas propostas mostraram-se capazes de gerar uma economia de 23377 kWh por mês, que

---

1 Engenheiro Químico. Universidade de Santa Maria, Santa Maria, RS

2 Engenheiro Químico. Professor Orientador. Universidade de Santa Maria, Santa Maria, RS

3 Engenheiro Químico. Coorientador. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

equivale à 33,9% do consumo total.

**Palavras-chave:** Extrusão, Conformação mecânica, Eficiência energética.

#### **ABSTRACT:**

The Ultra-high molecular weight polyethylene manufacturing is a complex process due to the material properties, which makes the high temperature compression the only mode of extrusion, in a process known as *ram extrusion*. The high pressure and temperature in this process usually result in wasted energy, and is the engineering task to reduce the energy dissipated in the process. Therefore, this study assess alternatives and propose energetic efficiency activities to improve the overall process performance. The proposed changes can save 23377 kWh per month, which is 33,9% of total consumption, resulting in an economy of R\$ 35.029,26.

## **1 INTRODUÇÃO**

Introduzido nos anos 50 no mercado de plásticos, o polietileno de ultra-alto peso molecular (PEUAPM), mais conhecido por seu acrônimo em inglês UHMW, é um material que concilia as propriedades comuns aos plásticos, como moldabilidade e leveza, à uma excelente resistência ao impacto, alta resistência à abrasão e baixo coeficiente de atrito. Isto tem tornado a utilização deste plástico cada vez mais comum na atividade industrial, assim como na fabricação de peças para máquinas agrícolas e placas de defesa marítima.

Sendo um plástico com propriedades diferenciadas, o UHMW também tem um processo de produção diferenciado. Seu coeficiente intrínseco de escoamento é muito baixo, o que torna impossível a produção por extrusoras de rosca convencionais. A melhor forma de produção contínua do UHMW é um processo de sinterização cíclica, conhecido como extrusão por pistão ou processo “ram”, termo aportuguesado do inglês *ram extrusion*.

O processo “ram” exige quantias relativamente grandes de calor, que são

distribuídas por meio de resistências elétricas; também exige a compressão cíclica e contínua do material, o que é suprido por unidades hidráulicas. Estas duas principais fontes de consumo de energia do sistema são o foco principal na busca pela melhoria da eficiência do sistema.

O estudo tem por objetivo encontrar modificações possíveis na atual estrutura das extrusoras ram, procurando diminuir o consumo de energia mantendo a velocidade e qualidade de produção atuais.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar a configuração do sistema de extrusão ram, estudando uma configuração que obtenha melhor eficiência energética, mantendo a capacidade de produção e qualidade do produto.

### **2.2 Objetivo específico**

- Analisar o consumo de energia atual do sistema de extrusão, e identificar os dispositivos consumidores de energia, procurando meios de diminuir seu consumo;
- Estimar a dissipação de energia térmica pelo sistema, propondo isolamentos térmicos capazes de diminuí-lo;
- Estudar o sistema de instalação de resistências térmicas, propondo alterações que resultem em economia de energia;
- Avaliar a substituição dos motores elétricos atualmente utilizados por outros de maior eficiência;
- Realizar a análise econômica de uma possível intervenção no sistema, através do tempo de retorno do capital (payback).

### **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1 Referencial sobre matérias primas e processos produtivos**

##### **3.1.1 O UHMW**

Obtido à partir da polimerização do gás Eteno utilizando metalloceno como catalisador, o polietileno é considerado um UHMW quando seu peso molecular é igual ou superior à  $2,5 \times 10^6$  g.mol<sup>-1</sup>. Este peso molecular elevadíssimo é o responsável por suas características diferenciadas, como alta resistência à abrasão e ao impacto - o material não quebra no teste de impacto Izod (Galdino, 2014). Também gera propriedades auto-lubrificantes, o que resulta no baixíssimo coeficiente de atrito de aproximadamente 0,1. Apresenta também elevada resistência à fissura por tensionamento, absorção de ruídos e inércia química.

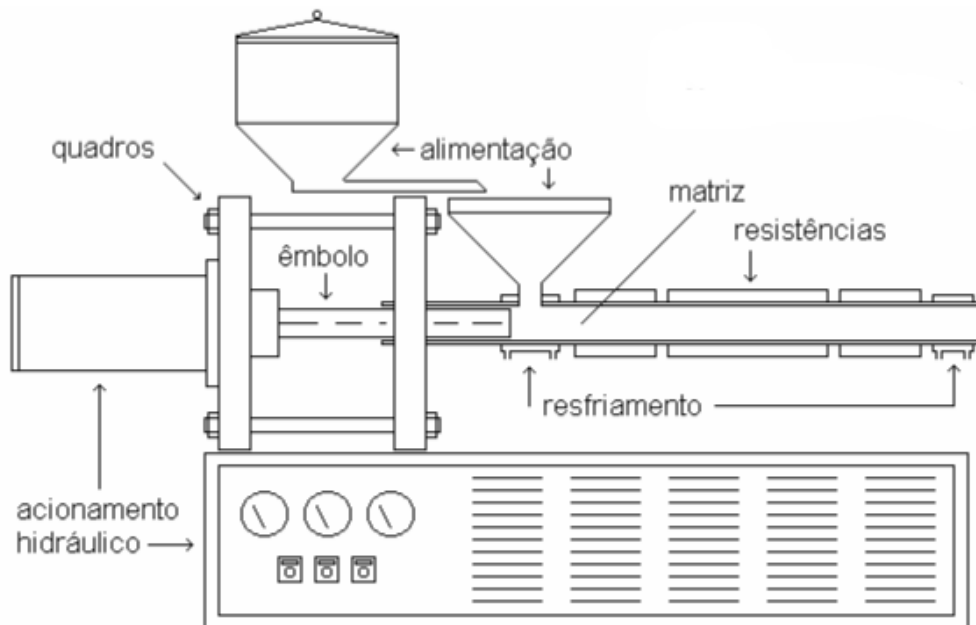
Suas propriedades especiais também surgem no momento do processamento: seu elevado peso molecular faz com que sua viscosidade intrínseca seja baixíssima, entre 14 e 28 dL/g (Braskem, 2014). Para efeito de comparação, o Polietileno tereftalato (PET) tem valores típicos de viscosidade intrínseca entre 0,70 e 0,79 dL/g. (Mancini, 2004) Como o material não tem fluidez, não é possível a produção deste material em equipamentos convencionais de processamento de termoplásticos, como injetoras e extrusoras de rosca convencionais. O mais eficiente método de produção contínua de UHMW é a sinterização cíclica por pistão, conhecida como extrusão ram.

##### **3.1.2 Extrusão ram**

O processo ram, como dito anteriormente, é uma alternativa encontrada para a produção contínua de UHMW, cuja viscosidade intrínseca impede seu processamento em injetoras e extrusoras convencionais.

O processo consiste em uma compressão-sinterização cíclica, pistonada, em temperatura próxima ao ponto de fusão do UHMW, para que este una seus grânulos por polimerização. A Figura 1 apresenta o esquema típico de uma extrusora ram.

**Figura 1 – Representação típica de uma extrusora ram**



Fonte: “UHMW ram extrusion”, Braskem, 2014

Com o material depositado no funil de alimentação, o êmbolo empurra o pó para o interior da matriz, onde resistências elevam a temperatura até 200°C. Esta temperatura elevada é necessária para que a temperatura no interior da chapa de UHMW atinja um valor próximo ao ponto de fusão, que é de 133°C. O êmbolo mantém a compressão por tempo determinado, para recuar em sequência. O material do funil novamente cai na área de compressão do êmbolo, que repete o processo.

Quanto maior a espessura da chapa, maior será o tempo de compressão e recuo do êmbolo, para que não haja grandes gradientes de temperatura na chapa, o que resultaria em uma má sinterização do plástico em função da temperatura muito baixa.

Uma extrusora ram para produção de chapas tem sua matriz em forma de cubo, e resistências uniformemente distribuídas ao longo da matriz, sendo inseridas dentro de seu corpo. Seu êmbolo terá a forma longilínea, idêntica ao formato e espessura da chapa que será produzida.

### **3.1.3 Resistor elétrico**

Segundo Gussow (1997), resistores são dispositivos cuja resistência ao fluxo da corrente tem um valor conhecido e bem determinado. São dispositivos que tem a finalidade de gerar oposição à passagem de corrente elétrica, gerando calor e limitando a corrente, e a aplicação de um resistor geralmente resume-se à utilidade de uma destas duas propriedades. No caso das extrusoras ram, os resistores tem a única finalidade de gerar calor para o aquecimento do UHMW até próximo à sua temperatura de fusão. Instaladas em uma matriz metálica, esta absorve parte da energia térmica e a dissipa para o ambiente por convecção na sua superfície.

### **3.1.4 Motor elétrico**

Pela definição de Gussow (1997), motor elétrico é uma máquina que converte energia elétrica em energia mecânica de rotação.

Os motores de corrente alternada são os mais utilizados, pois a distribuição de energia elétrica é feita desta maneira. Seu princípio de funcionamento é baseado no campo girante que surge quando um sistema de correntes alternadas trifásico é aplicado em polos posicionados em um ângulo de  $120^\circ$  em relação aos demais. Desta forma, em cada instante um par de polos possui um campo com maior intensidade, e sua associação vetorial forma o campo girante.

## **3.2 Referencial sobre fenômenos de transporte associados ao processo**

### **3.2.1 Condução unidimensional em regime estacionário**

Em uma extrusora ram, consideramos que a condução de calor entre as placas das matrizes tem o padrão unidimensional de parede plana. Neste cenário, a temperatura é uma função somente da coordenada  $x$  e o calor é transferido exclusivamente nesta direção.

Segundo Perez (1993), condução é um modo do fenômeno de transferência térmica causado por uma diferença de temperatura entre duas regiões em um mesmo meio ou entre dois meios em contato no qual não se percebe movimento

global da matéria na escala macroscópica.

Para a condução unidimensional em regime estacionário, tem-se a taxa de calor transferido determinado pela equação abaixo:

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx} = \frac{kA}{L} (T_{s,1} - T_{s,2}) \quad \text{Eq. 1}$$

### 3.2.2 Convecção

A dissipação térmica por convecção é definida por Cengel (2003) como a transferência de energia térmica pelo movimento de uma parte do material para a outra. A presença de maior movimento do fluido aumenta a transferência de calor entre o sólido e o fluido.

Consideramos a perda térmica nas extrusoras ram como convecção natural. Para esta condição, temos as seguintes equações:

Calor dissipado:

$$Q = hA(T_s - T_f) \quad \text{Eq. 2}$$

Para encontrar o coeficiente de transferência térmica, utilizamos o cálculo pelo número de Nusselt e número de Rayleigh, a saber:

$$Nu_L = \frac{hL}{k} = C Ra_L^n \quad \text{Eq. 3}$$

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \quad \text{Eq.4}$$

### 3.2.3 Convecção natural

A convecção natural ocorre quando não o fluido não é forçado a percorrer a superfície do sólido ao qual está em contato. Como não há fonte externa gerando transporte do fluido, a movimentação deste ocorre apenas por variações de densidade devido à variações de temperatura do fluido.

### 3.2.4 Resistência térmica

Incropera (1990) define resistência como a razão entre um potencial motriz e a correspondente taxa de transferência. No caso da resistência térmica para condução, temos:

Eq. 5

$$R_{t,cond} = \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{q_x} = \frac{L}{kA}$$

E para a convecção, temos:

$$R_{t,conv} = \frac{T_s - T_\infty}{q_x} = \frac{1}{hA} \quad \text{Eq. 6}$$

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Análise do sistema ram

As extrusoras ram analisadas são pertencentes à Polistar Brasil Indústria de Plásticos. A unidade possui 8 extrusoras ram para produção de chapas de 1000 mm, cada uma delas contando com os seguintes itens consumidores de energia:

- Motor elétrico marca “Dolin AEEF series”, de 10 hp (7,5 kW), com rendimento de 88%, conectado à unidade hidráulica;
- 15 resistências de 2500W ligadas à um termostato, com set point em 202°C, funcionando em sistema liga/desliga.

Há também painéis elétricos onde estão instalados os controles de temperatura, termopares e fins-de curso, mas serão desconsiderados em nosso cálculo por apresentarem consumo de energia desprezível e não terem um substituto mais econômico.

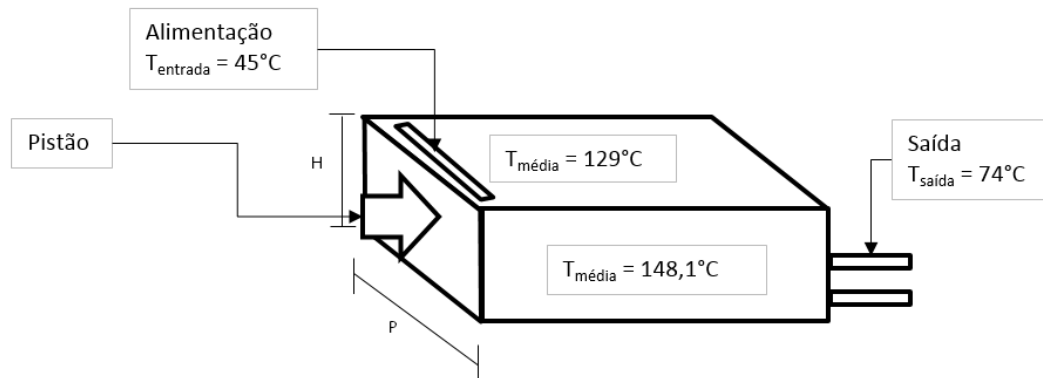
As resistências geram calor para o aquecimento da matriz retangular, que é absorvido pelo UHMW no processo de sinterização da chapa. Parte desse calor é dissipado pelo metal da matriz, sem nenhum anteparo de isolamento térmico entre a matriz e o ar. A dissipação de energia na fronteira metal-ar pode ser considerada convecção natural, até porque não há interesse na perda de calor. A condução de calor pela matriz pode ser considerada unidimensional em placa horizontal no topo da máquina, e vertical nas laterais.

Serão consideradas apenas as médias do topo e laterais pois não há possibilidade de entrarmos com isolamento térmico nas partes traseira e frontal, pois são respectivamente o local de entrada do êmbolo e saída da chapa extrusada. A



parte inferior é tomada inteiramente pela base de sustentação, o que também impossibilita instalação de isolamento térmico. A representação esquemática da unidade está representada na Figura 2.

**Figura 2 – esquema “box” da extrusora**



Fonte: do autor.

#### **4.2 Análise da faixa de temperatura das resistências**

O sistema estudado trabalha com sistema *on/off*, com *set point* em 200°C. A mudança proposta neste caso consiste em alterarmos o *set point* para duas temperaturas, uma mínima e outra máxima.

#### **4.3 Análise dos motores**

Um ponto onde investimento pode gerar maior eficiência é a troca dos antigos motores das bombas. Os motores atuais tem mais de 5 anos de uso, e apresentam rendimento abaixo dos 90%. Como funcionam fornecendo pressão constante às unidades hidráulicas, praticamente não apresentam paradas.

Os motores estão listados abaixo:

Motor elétrico atual – AEEF (fabricante chinês) 10 hp – 7,5 kW, 88%

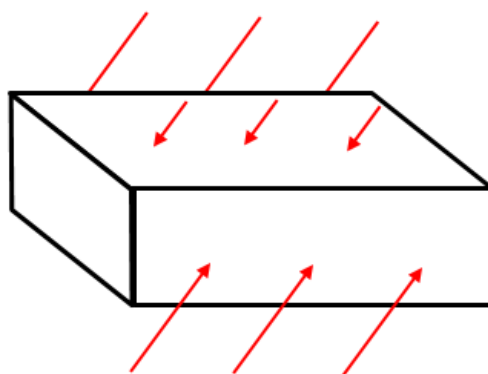
Motor elétrico proposto – WEG W22 plus 7,5 hp – 5,5 kW, 91%

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

## 5.1 Aquisição de dados de temperatura e área de dissipação

A temperatura superficial da matriz foi medida em diversos pontos, conforme mostrado na Figura 3, obtendo os dados contidos na tabela 1.

**Figura 3 – tomadas de temperatura**



Fonte: do autor.

**Tabela 1- Temperatura média superficial**

Ponto de medição da temperatura	Temperatura média(°C)
Superior – esquerda	129
Central – esquerda	137
Inferior – esquerda	130
Superior – centro	146
Centro – centro	173
Inferior – centro	165
Superior – direita	146
Centro – direita	157
Inferior – direita	150

A extrusora teve suas dimensões medidas e áreas calculadas, pois é parte importante no cálculo de dissipação térmica. As dimensões são apresentadas na tabela 2.

**Tabela 2 – Áreas das superfícies da extrusora**

Local	Área
Superior	0,8 m <sup>2</sup>
Inferior	0,8 m <sup>2</sup>
Lateral esquerda	0,028 m <sup>2</sup>
Lateral direita	0,028 m <sup>2</sup>
Traseira	0,035 m <sup>2</sup>
Frente	0,015 m <sup>2</sup>

Para efeitos de cálculo foi realizada uma média das tomadas de temperatura de superfície de cada face da matriz. Esta consideração baseia-se no fato de que não busca-se um gradiente detalhado de temperatura na superfície, mas sim a quantidade média de energia térmica dissipada. Assim sendo, a média das temperatura (tabela 3) resulta em um valor representativo.

**Tabela 3 – Médias de temperatura por área**

Local	Temperatura (°C)
Média das laterais	148,1
Média do topo	132,0

## 5.2 Cálculo da dissipação térmica

No caso das laterais , L=H, então:

$$Ra_L = \frac{9,8 \cdot 0,0033 \cdot (148,1 - 25)0,35^3}{(16 \cdot 10^{-6})(22,9 \cdot 10^{-6})} \quad \text{Eq. 7}$$
$$Ra_L = 4,5 \cdot 10^8$$

Com isso chegamos à um Nusselt:

$$Nu_L = 114,97$$

O que nos leva à um valor de h:

$$Nu_L = \frac{hL}{k}$$

$$h = 10,67 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Com este valor h, encontramos a energia térmica dissipada Q para cada uma das laterais:

$$Q = hA(T_s - T_f)$$

$$Q = 308,19 \text{ W}/\text{m}$$

Para a superfície superior,  $L \approx (P/2) = 0,5$ . Assim, o número de Rayleigh:

$$Ra_L = 1,31 \cdot 10^9$$

Então encontramos um Nusselt igual a:

$$Nu_L = 164,25$$

Eq. 8

E um coeficiente h de:

$$h = 15,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Com a temperatura de 129°C na superfície do topo, chegamos à um Q de:

$$Q = 358,52 \text{ W}/\text{m}$$

A taxa de perda térmica por unidade de comprimento da matriz é, então:

$$q' = 2q'_H + q'_p$$

Eq. 9

$$q' = 2 \cdot (308,19 \text{ W}/\text{m}) + 358,52 \text{ W}/\text{m}$$

$$q' = 974 \text{ W}/\text{m}$$

Na extensão de 0,8 m, temos o valor total de;

$$q = 779,92 \text{ W}$$

Cabe ressaltar que esta é apenas a dissipação gerada pelas paredes onde

é possível a intervenção com isolamento térmico. Estima-se que as perdas por condução no êmbolo, base de sustentação e saída das chapas de UHMW somem uma dissipação térmica da ordem de 1.000 W. Entretanto, não será realizado o cálculo detalhado destas perdas, pois não é possível a instalação de isolamento nestes locais, seja por movimento de partes móveis ou por obstrução da estrutura da máquina.

### 5.3 Cálculo da dissipação térmica do sistema

Como já citado anteriormente, algumas considerações deverão ser feitas para que tenhamos um cálculo mais acessível, com resultados representativos:

Consideram-se as superfícies da matriz aquecida da extrusora como parede plana, utilizando os equações propostas por Incropera (1990) para este caso específico. Neste cálculo foram estabelecidas as seguintes condições:

- Admite-se dissipação uniforme em cada parede plana;
- Admite-se que a dissipação parede-ar se dá por convecção natural;
- Para efeitos de cálculo considera-se regime permanente.
- Propriedades do ar à 45°C (temperatura média na entrada da matéria prima) ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\nu$ ,  $\kappa$ , Pr) são extraídas da tabela A.4 de "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", de Frank Incropera (1990).

Partindo de:

$$Q = hA(T_s - T_f) \quad \text{Eq. 10}$$

Precisamos encontrar o coeficiente h, a partir dos números de Nusselt e Rayleigh:

$$Nu_L = \frac{hL}{k} = C Ra_L^n \quad \text{Eq. 11}$$

Então encontramos o número de Rayleigh para parede vertical:

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \quad \text{Eq. 12}$$

#### 5.4 Cálculo da resistência térmica

Foi escolhida a lã de rocha como material isolante. A escolha baseia-se nas vantagens deste produto, que é largamente utilizado em escala industrial, é de fácil obtenção, custo relativamente baixo e propriedades bastante conhecidas e disponíveis em boletins técnicos. As especificações escolhidas foram de 30 mm de espessura (por conveniência de instalação), e densidade de 90 kg/m<sup>3</sup> (melhores índices de resistência térmica. para estes parâmetros, o boletim técnico da fabricante Sotecnisol informa um valor de coeficiente de transferência térmica de 0,034 W/mK. Para 30mm, o valor da resistência térmica R de 0,85 m<sup>2</sup>K/W.

Para o cálculo da resistência total, temos:

$$R_{total} = \frac{1}{A} \left( \frac{L_{iso}}{K_{iso}} + \frac{1}{h_r} \right) \quad \text{Eq. 13}$$

$$R_{total} = 0,732 \text{ K/W}$$

Utilizamos o valor de resistência total para encontrarmos os novos valores de energia térmica dissipada:

$$R_{total} = \frac{T_{int} - T_{ext}}{q} \quad \text{Eq. 14}$$

Para as laterais:

$$q_{lat} = 162,74 \text{ W}$$

Para o topo:

$$q_{top} = 114,73 \text{ W}$$

Sendo o total:

$$q_{top} = 440,21 \text{ W}$$

Nota-se que, comparando com o valor anterior de 779,92 W, há uma

economia de 339,71 W quando utilizado um isolamento de lã de rocha 30 mm. Em outras palavras, pode ser evitada a perda 43% da energia térmica dissipada.

A economia gerada pelo isolamento térmico é de 2113 kWh por mês, considerando 8 extrusoras.

### **5.5 Cálculo da economia gerada pela aumento no “range” de temperatura dos resistores**

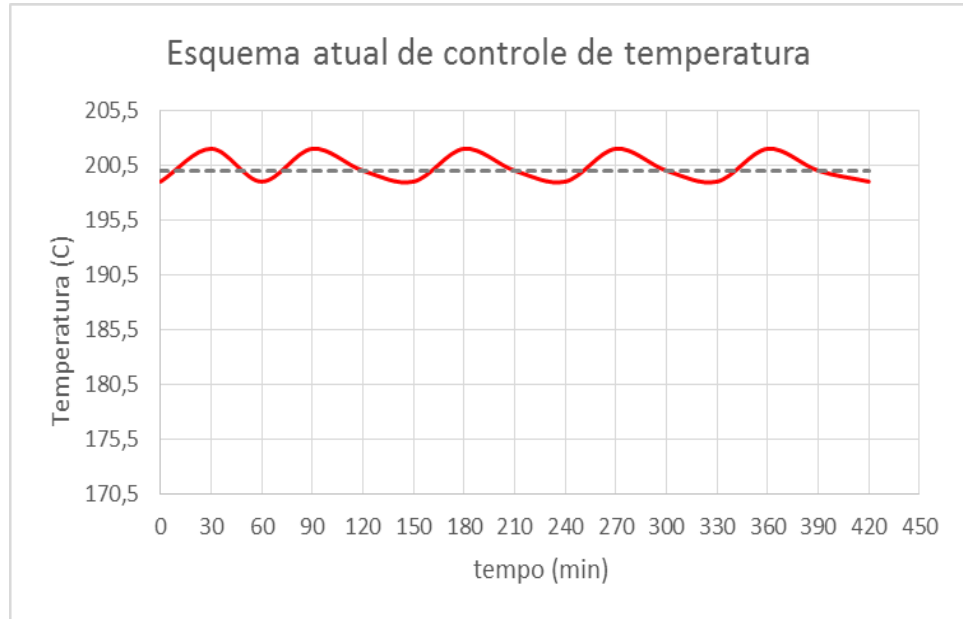
A idéia na mudança do “range” de temperatura para a ativação dos resistores se baseia em três aspectos: primeiro, gerar menor desgaste do sistema elétrico, diminuindo a atuação de relés e chaves, melhorando a autonomia do sistema; baixar levemente a temperatura média do sistema, visto que já há um gradiente de 67°C entre a temperatura medida no termopar e a temperatura necessária no interior da chapa, valor este que pode ser diminuído sem maiores problemas; além disso, como tanto condução quanto dissipação térmica são função da diferença de temperatura, dar uma maior faixa de trabalho para a temperatura significa diminuirmos levemente a energia dissipada.

Os valores de *set point* foram 195 para mínimo e 202 para máximo. As Figuras 4 e 5 apresentam o esquema atual de controle da temperatura na extrusora e o esquema proposto, respectivamente.

Atual:

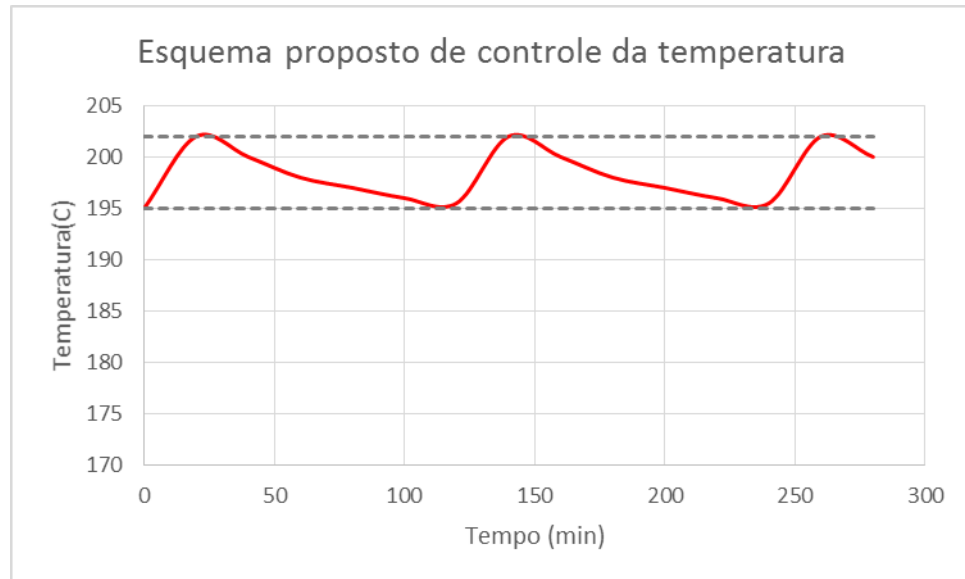
#### **Figura 4 – controle de temperatura atual**





Fonte: do autor

**Figura 5 – controle de temperatura proposto**



Fonte: do autor

Através da Figura 5 é possível observar que existe uma redução na utilização dos resistores, de 50% para 33% neste novo formato, além de haver uma temperatura média menor. Como dito anteriormente, não houve redução na qualidade do produto apesar da faixa de temperatura ser mais baixa que no esquema anterior.

Para o cálculo da energia dissipada, fazemos a multiplicação da potência da resistência pelo tempo de operação mensal e pelo tempo de utilização.

No sistema anterior,

$$E_{dissipada} = P_{resist} \cdot (t \cdot util.) \quad \text{Eq. 15}$$

$$E_{dissipada} = 2500 \text{ W} \cdot (144\text{h} \cdot 0,5)$$

$$E_{resist} = 180\text{kWh}$$

No sistema proposto:

$$E_{dissipada} = 2500 \text{ W} \cdot (144\text{h} \cdot 0,33)$$

$$E_{resist} = 118,8\text{kWh}$$

Obtemos assim uma redução de 61,2 kWh por mês para cada resistor. Com a utilização dos 120 resistores das 8 máquinas, temos uma redução mensal de 7344

kWh.

## 5.6 Economia gerada pela troca dos motores

O cálculo da economia gerada pela troca dos motores contempla apenas a melhora do rendimento e redução da potência.

Em 8 extrusoras, a redução seria de 23,2 kW (já contando com a melhor eficiência do novo motor). Mensalmente, a economia de energia seria de 13920 kWh.

## 6 Análise econômica

### 6.1 Custos envolvidos no projeto

#### 6.1.1 Isolamento térmico

Escolhidos os materiais, estima-se a quantidade utilizada, número necessário de funcionários e tempo de instalação.

Os dados foram estimados em orçamentos e preços médios do mercado, e estão na tabela 4:

Tabela 4 – Custos envolvidos no isolamento térmico

Lã de Rocha (preço médio por m <sup>2</sup> )	R\$ 35,80
Quantidade necessária (m <sup>2</sup> )	10,5
Nº de instaladores	2
Hora-homem média	R\$ 50,00
Número de horas necessárias	64 h

Fonte: pesquisa de valores de mercado (do autor)

O custo total desta instalação será de R\$ 6.775,90 (material + mão-de-obra), e demandará 64 horas de máquinas paradas. A receita média gerada por hora é de R\$ 1.215,28, portanto são adicionados ao investimento inicial o valor de R\$ 9.722,24; O investimento é de R\$ 16.498,14.

### 6.1.2 Troca dos motores

Foram reunidos na tabela 5 os dados necessários para a aquisição de 8 motores marca WEG, modelo W22 plus, e o necessário para instalação. Estimou-se um período de 4 horas para a troca de cada motor.

Tabela 5 – Custos envolvidos na troca de motores

Motor WEG W22 plus (unidade)	R\$ 1.530,00
Quantidade necessária	8
Nº de instaladores	1
Hora-homem média	R\$ 45,00
Número de horas necessárias	32 h

Fonte: pesquisa de valores de mercado (do autor)

O custo total desta instalação será de R\$ 13.680,00 (material + mão-de-obra), e demandará 32 horas de máquinas paradas, sendo adicionado o valor de R\$ 4.861,12; O investimento é de R\$ 18.541,42.

A soma de ambos os valores resulta no investimento total inicial de R\$ 35.039,26.

### 6.1.3 Payback do investimento

Segundo os valores estimados, as medidas propostas tornarão possível reduzir o consumo em 23377 kWh por mês, sendo 7344 kWh apenas com ajustes, e 16033 kWh envolvendo investimentos. O consumo médio do setor é de 68881 kWh/mês, e o valor médio por kWh é de R\$ 0,39, já incluídos impostos e encargos. O Investimento necessário, conforme visto na seção anterior, é de R\$ 35.029,26.

Com estes dados, chegamos ao gráfico de payback do investimento, que é mostrado na Figura 6:

**Figura 6 – Análise econômica dos investimento**



Fonte: do autor.

Conforme pode-se observar no gráfico, o payback do investimento pode ser alcançado em 7 meses, confirmando assim a viabilidade do investimento.

Ainda foi estimada a economia de receita gerada pelo ajuste no range de temperatura, que é de 7344 kWh ao mês e não demanda investimento, demonstrado no gráfico da Figura 7:

**Figura 6 – Análise econômica do ajuste nos resistores**



Fonte: do autor.

## 7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Observa-se neste estudo que pode ser realizado um trabalho visando a

eficientização do sistema de extrusoras ram à um custo relativamente baixo e tempo de instalação pequeno, gerando uma alta taxa de retorno, com payback em apenas 7 meses.

A economia de 23377 kWh mensal dentro de um consumo de 68881 kWh significa uma economia de 33,9%, valor bastante considerável, ainda mais tendo em vista o esforço geral para economia de energia dentro do panorama atual do país. O investimento de R\$ 35.029,26 tem payback em 7 meses, o que valida economicamente as propostas de mudança, e torna-a atrativa devido ao retorno financeiro.

Sugere-se, como prosseguimento deste estudo, a possibilidade de ser estudado um redimensionamento dos resistores elétricos, assim como mudanças no sistema de unidades hidráulicas, e o balanço de energia que envolve a sinterização da chapa plástica, para maximizar a eficiência do processo.

## 8 REFERÊNCIAS

Bittencourt, Bernadete A.; Ellwanger, Manoela V.; "Moldagem por Compressão a Frio do Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular". Disponível em "Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 19, nº 3, p. 224-230, 2009"

Galdino, Gérson V.; "Avaliação do Efeito do Reprocessamento do Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular Sobre Suas Propriedades Mecânicas, Térmicas e Morfológicas." 2014

Braskem, folha de dados - UTEC 6540. Revisão 6, 2014.

Mancini, Sandro D.; Matos, Itley G.; Almeida, Rômulo F. "Determinação da variação da viscosidade intrínseca do politereftalato de etileno de embalagens"

Braskem, "*Ram extrusion*". Boletim técnico Nº 3.02, Revisão 1, 2002.

Yugnus A Cengel, "Heat transfer-A Practical Approach", 2<sup>a</sup> ed. Publisher McGraw Hill Professional. 2003

Frank P. Incropera; David P. De Witt. "Fundamentals of Heat and Mass Transfer". 3<sup>a</sup> ed. John Wiley & Sons, 1990

J.Ph. Pérez et A.M. Romulus. "Thermodynamique, Fondements et applications". Masson, Paris, 1993.

Gussow, Milton, "Eletricidade básica", 2<sup>a</sup> ed. Pearson Makron Books, 1997.

Sotecnisol, Ficha técnica, "Lã de Rocha 90 Kg/m<sup>3</sup>". 2014.