

## Relatório Final

Título do projeto de pesquisa: Planejamento e controle de produção de gargantas de tubeira

Bolsista: Mariana Tiyaki Siqueira Kobayashi

Orientador(a): Luiz Claudio Pardini

Período a que se refere o relatório: agosto de 2013 a julho de 2014.

### Resumo

Os materiais utilizados no processo de fabricação da Garganta de tubeiras de foguete foram: Vareta Fibra de Carbono, Piche e Resina. Como principal ferramenta de trabalho utilizou-se a planilha do Excel, foram feitas cronogramas e tabelas de como seria a fabricação da preforma da garganta de tubeira, desde as etapas de Impregnação, Carbonização e Grafitação e qual a duração de cada tipo de processo. Também foram calculados os custos com Mão de obra, Engenheiro, Técnico, Auxiliar; Quantidade de trabalhadores, salários, horas extra e adicional noturno e energia elétrica consumida no processo.

Todos os custos envolvidos no processo de fabricação da garganta de tubeira foram levantados e calculados anualmente.

### 1. Introdução

A finalidade do presente trabalho é abordar inicialmente os custos envolvidos no processo de fabricação de gargantas de tubeiras, considerando a mão-de-obra, matéria-prima, custos com energia elétrica e custos com processos de Impregnação, Carbonização e Grafitação. O ponto de partida para fabricação de uma garganta de tubeira de foguete é a arquitetura de fibras (preforma), obtida por meio de varetas unidirecionais de fibra de carbono e piche.

Portanto, o objetivo deste trabalho é, inicialmente, avaliar a viabilidade e custos envolvidos no processo de fabricação das gargantas de tubeiras, customizar o processo e operação, matéria-prima e operadores envolvidos.

## 2. Material e métodos

Para a fabricação das gargantas de tubeiras foram usados, Varetas de Fibra de Carbono e Piche. Para cálculo da massa da preforma da garganta foi considerada a geometria mostrada a seguir, considerando uma massa específica do produto final de  $1,85 \text{ g/cm}^3$ .

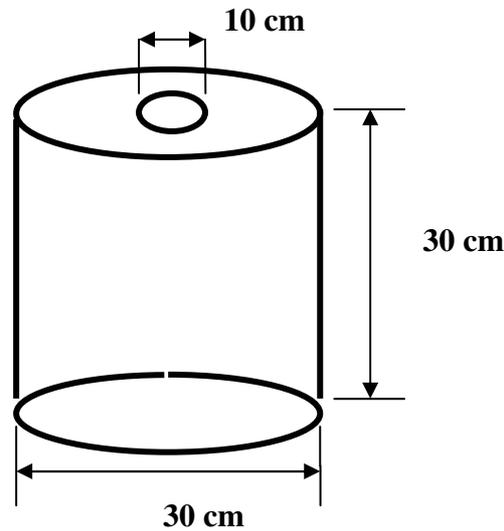


Fig.1. Preforma garganta tubeira.

O volume da peça pode ser calculado como a seguir:

$$V1 = \pi R^2 h = \pi (15)^2 \times 30 = 21206 \text{ cm}^3$$

$$V2 = \pi R^2 h = \pi (5)^2 \times 30 = 2356 \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{Total}} = 21206 + 2356 = 18850 \text{ cm}^3$$

Considerando a massa específica do produto, calcula-se a massa total.

$$M = \mu \times vt = 1,85 \times 18850 = 34,872 \approx 35 \text{ Kg}$$

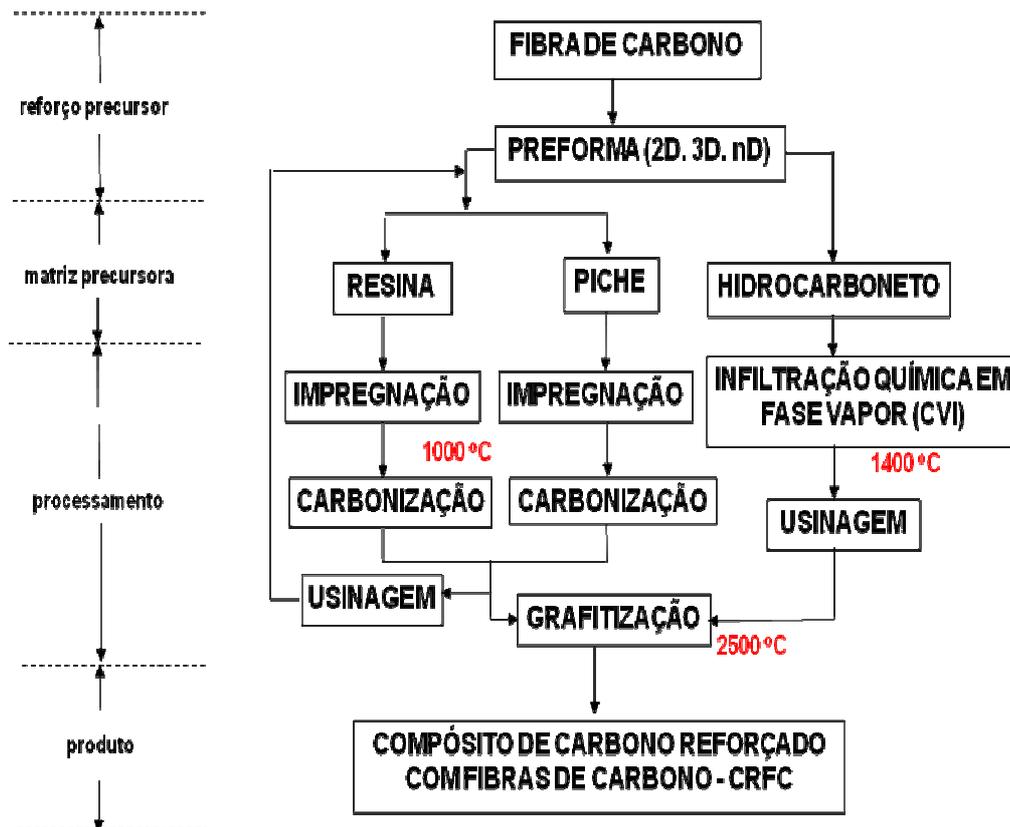
### Compósito CRFC

Os compósitos CRFC são formados pela utilização de fibras de carbono e matrizes carbonosas, estas formadas essencialmente pelo elemento carbono. Neste trabalho utilizaremos materiais oriundas de piche e resina para obtenção de gargantas de tubeira.

Obedecendo ao critério da manufatura do compósito CRFC.

O Diagrama Esquemático a seguir, mostra os tipos de processo pra obtenção do Compósito Carbono Reforçado com Fibras de Carbono.

### O PROCESSO PARA COMPÓSITOS CRFC (Carbono/Carbono)



A seguir são apresentadas figuras da formação da Preforma para obtenção da garganta de tubeira.

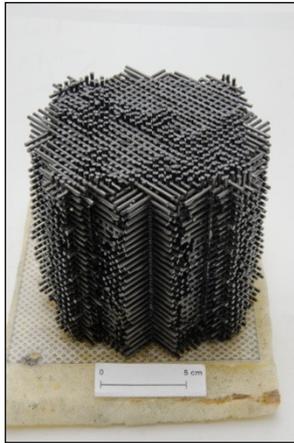


Figura 2.1 - Preformas multidirecionais.

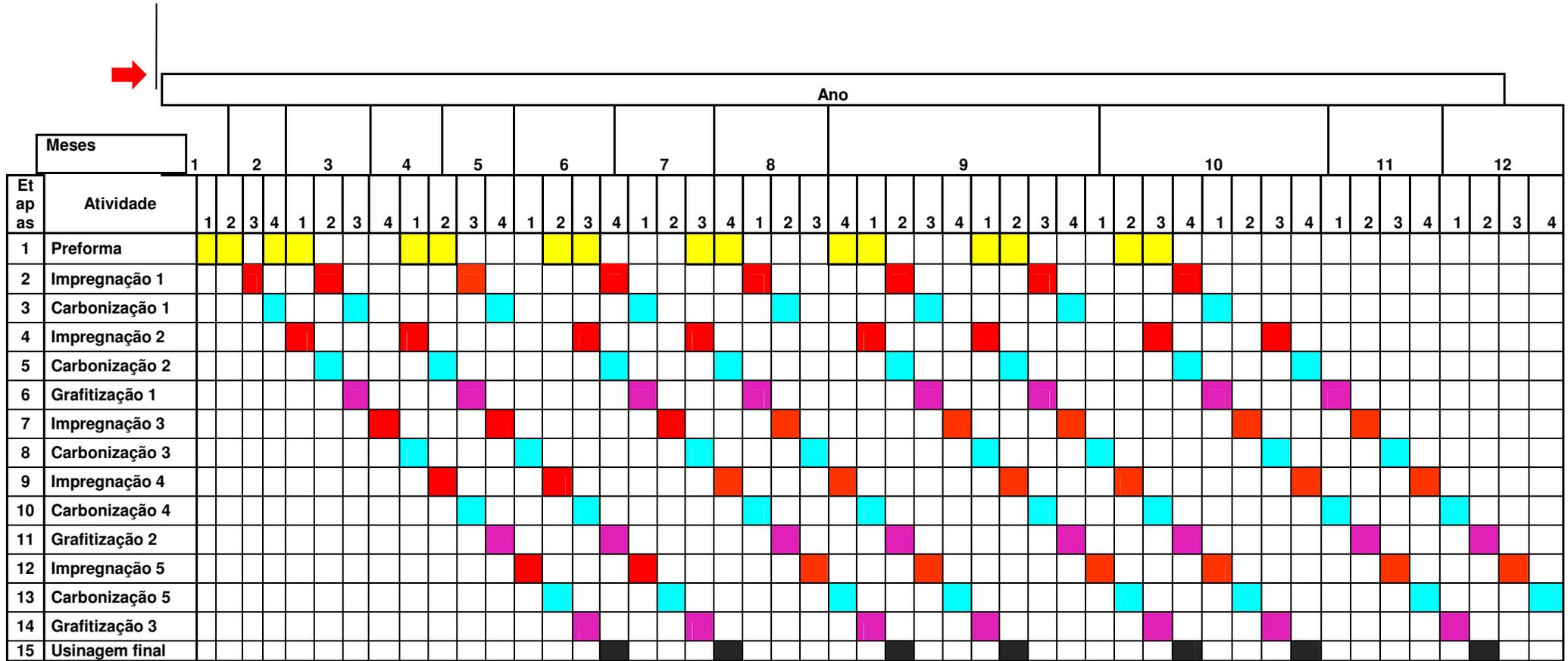


Figura 2.2 - Piche e resina para obtenção do compósito de carbono.



Figura 2.3 - Preformas final compósito CRFC.

O plano, planejamento e processo de fabricação de gargantas de tubeira dever ser estabelecido. Foi utilizada a ferramenta o Excel, onde foi elaborado o cronograma conforme tabela a seguir, onde é mostrado o detalhadamente das etapas de cada processo, atividade e semanas de atividades. Foi considerado que duas preformas são fabricadas simultaneamente, resultando em 14 unidades de garganta de tubeira.



Preforma	Y
Impregnação	R
Carbonização	C
Grafitização	G
Usinagem final	U



As etapas e operações de fabricação são delineadas considerando operações, tempo e número de funcionários.

Tabela 2 – Tempo para cada etapa do processo C/C

Etapa de Manufatura	Tempo /Etapas	Mão de Obra
<b>Impregnação</b>	Compreende a preparação do recipiente, colocação da preforma , e o uso de piche que será fundido à 150 °C por 24 horas	1 Técnico (R\$4.000,00); 1 Auxiliar (R\$ 2.000,00) - Jornada 5 dias ; 8 horas.
<b>Carbonização</b>	Compreende a preparação do forno, e sistemas auxiliares. Rampa de aquecimento de 20 °C/hora (48 horas) até 1000°C, e resfriamento por 48 horas.	1 Engenheiro(R\$10.000,00),1 Técnico (R\$ 4.000,00); 1 Auxiliar - Jornada 5 dias ; 8 horas.
<b>Grafitização</b>	Compreende a preparação do forno e sistemas auxiliares. Rapa de aquecimento de 35 °C/min (72 horas) até 2500 °C, e resfriamento por 48 horas.	1 Engenheiro(R\$10.000,00); 1 Técnico(R\$ 4.000,00); 1 Auxiliar (R\$ 2.000,00) - Jornada 5 dias ; 8 horas.

A Tabela 3 estabelece a quantidade de funcionários, salário, horas extras e adicionais, considerando uma jornada de 40 horas semanais.

Tabela 3 - Custos de mão de obra em 12 meses /Kg.

	Mão de obra	Horas mensais	Salario	Horas Extras 30% + 20%+ Adicional	Salário Final
<b>1</b>	Engenheiro	19200	R\$ 120.000,00	R\$ 60.000,00	R\$ 180.000,00
<b>3</b>	Técnico	19200	R\$ 144.000,00	R\$ 100.800,00	R\$ 244.800,00
<b>2</b>	Auxiliar	19200	R\$ 48.000,00	R\$ 33.600,00	R\$ 81.600,00
			<b>Total:</b>		<b>R\$ 1.033,469</b>

⇒ = soma do salário final ÷



Tabela 4 calcula o custo de energia elétrica, considerando a massa do produto (kg) considerando o tipo de processo usado na fabricação de gargantas de tubeira.

Preparação e Operação										
Processo	Tipo/Especificação	Temperatura	Tempo de operação (h)	Potência Equipamento (kW)	Consumo (kWh)	Preço kWh	Custo Ciclo Individual	Numeros de etapas de Processos	Custo do Processo	Custo/kg
Carbonização	Forno Hiperclave - 220W - 48 horas= 10560 Wh; Rampa:25-1000°C; Pressão: 800 bar ; Argonio: R\$ 35,00 m³/ cilindro 10m³	1000 °C	48	60	2880	0,35	R\$14,40	35	R\$504,00	R\$14,40
Grafitização	Forno Acheson-Casther ; Rampa: 25-2500°C (72h) ; Energia : 0,348988	2500 °C	72	300	21600	0,35	R\$7.560,00	21	R\$58.740,00	R\$4.536,00
<b>Total:</b>									R\$ 327,03	

Obs: 1- A literatura indica consumo de 2,5 – 3 kWh/kg na grafitização, para se conservador pode-se estabelecer o valor de 5 kWh/Kg.

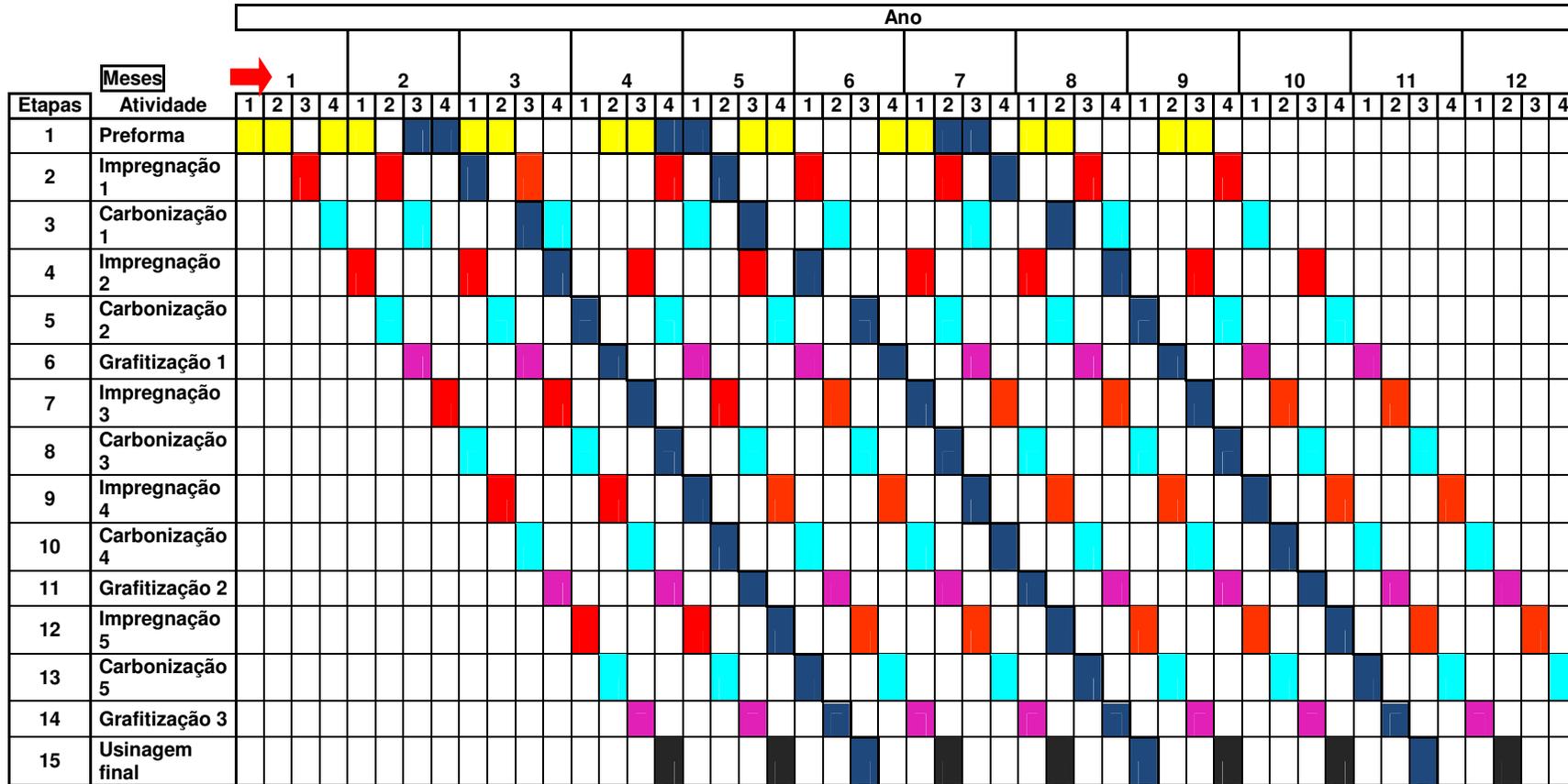
2- Gás de Processo Argônio = Argônio Comercial.

3- Preço do kWh indústria= R\$ 0,35.

= Soma do Custo do Processo ÷ (35x14).



Cronograma de Planejamento de Produção após implementação de Melhoria



Preforma	█	Grafitização	█
Impregnação	█	Usinagem final	█
Carbonização	█		

### 3. Resultados

Analisando as planilhas envolvidas no processo de fabricação de gargantas de tubeiras, observa-se que os custos relativos às varetas de fibras de carbono são relativamente superiores aos demais. Outra observação, as operações como Impregnação, Carbonização e Grafitização, tem longo tempo de duração no processo fabril, gerando gargalos. Deve-se otimizar o uso de mão-de-obra nos intervalos de fabricação, para evitar custos.

A seguir está o Cronograma do Planejamento de Produção, onde otimizou mão-de-obra nos intervalos de fabricação, evitando trabalhadores parados. No ano serão fabricados 14, com essa estratégia de otimizar os intervalos de etapas do processo, consegue fabricar mais 6 tubeiras, ou seja, ganho no intervalo das operações como Impregnação, Carbonização e Grafitização.

As figuras 3 a 6 referem-se aos insumos da fabricação de gargantas de tubeira de cada um dos compósitos, utilizando-se piche, onde é considerada a fração (porcentagem) de varetas em massa que compõem a preforma inicial, e conseqüentemente o compósito final. Para os cálculos é considerada a massa específica final do produto de 1,85 g/cm<sup>3</sup>, e 5% em volume de poros.

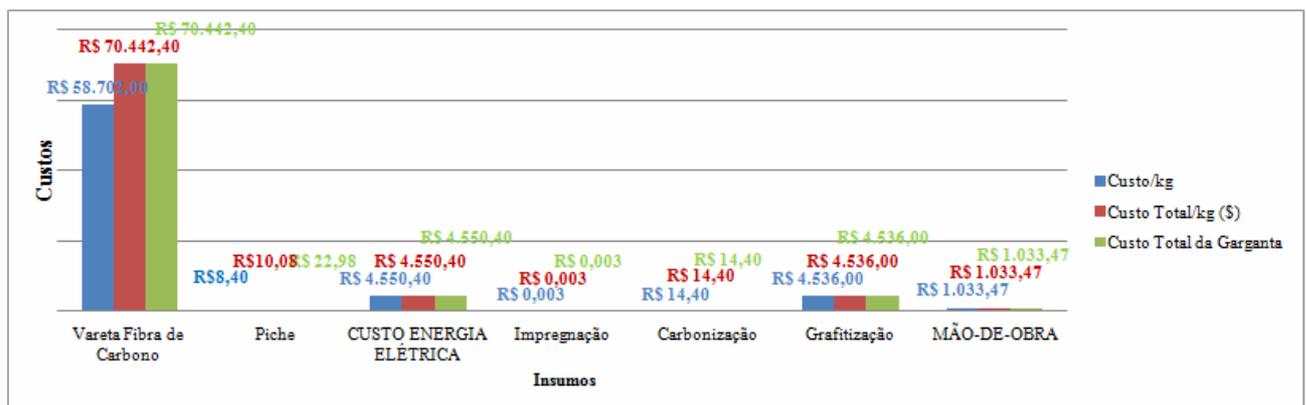


Fig.3. Custo total por insumo - Piche 40/60%.

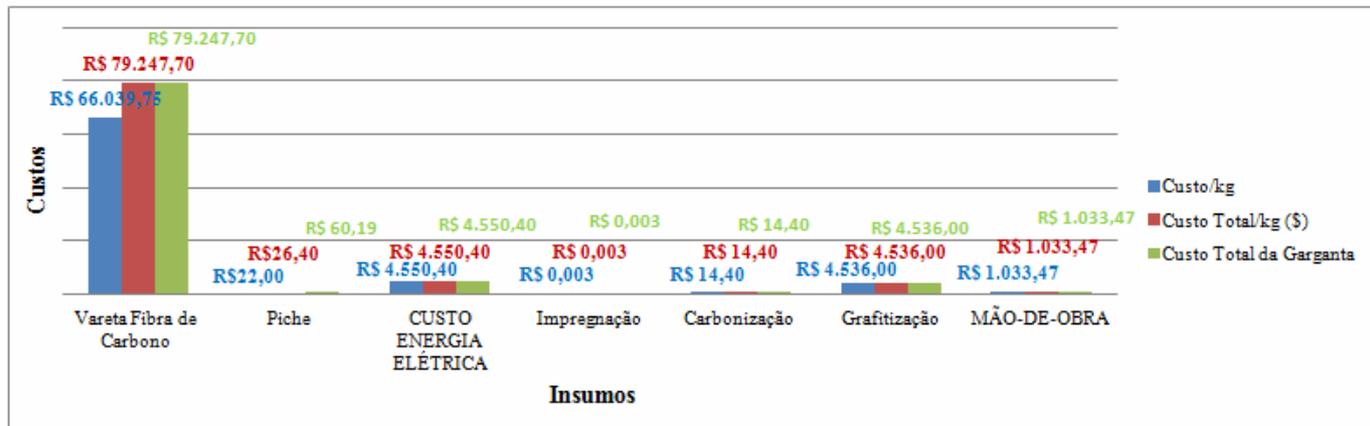


Fig.4. Custo total por insumo - Piche 45/55%.

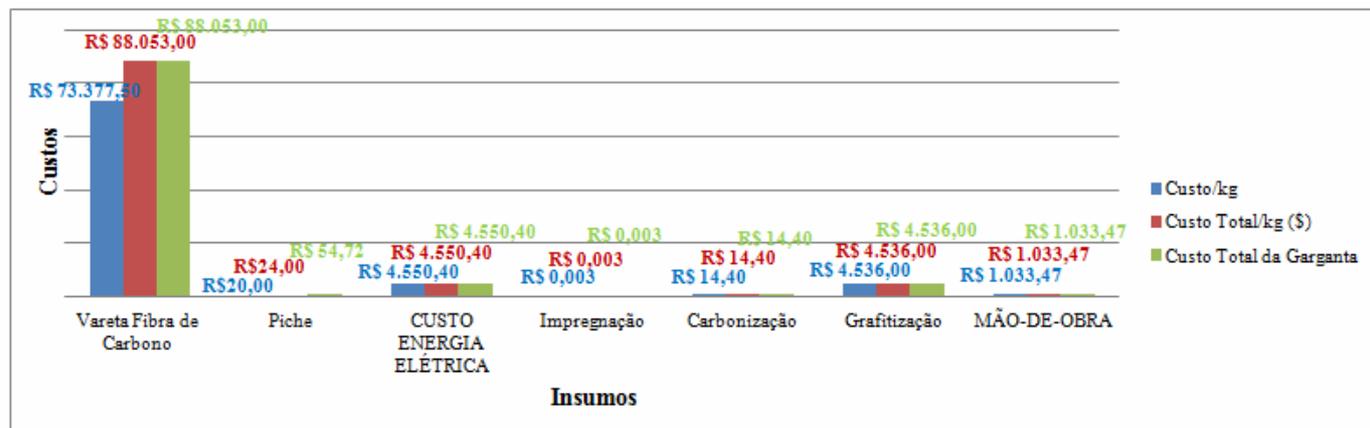


Fig.5. Custo total por insumo - Piche 50/50%.

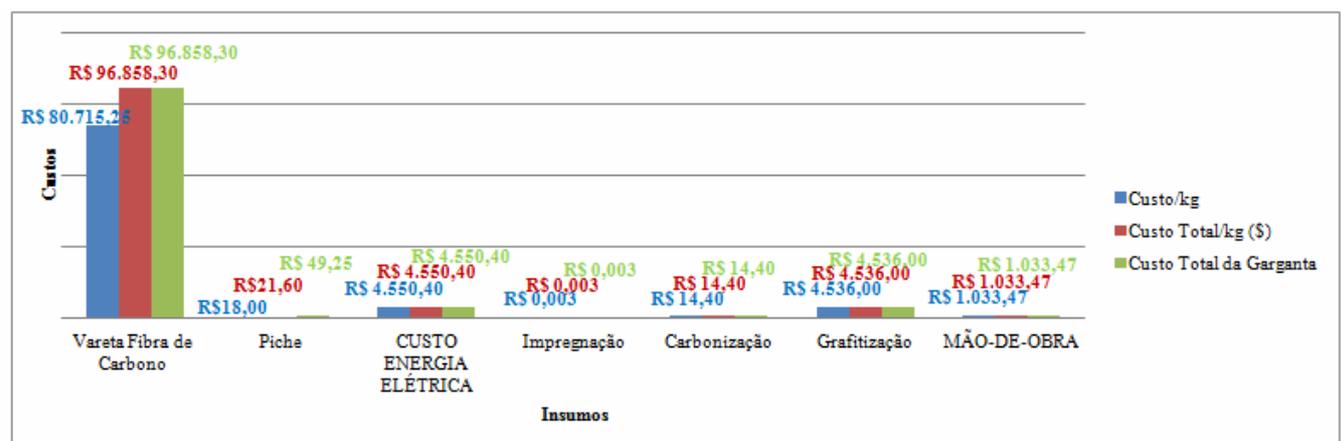


Fig.6. Custo total por insumo - Piche 55/45%.

A figura 7 representa o custo total da garganta de tubeira de foguete considerando a fração em massa para o Piche.

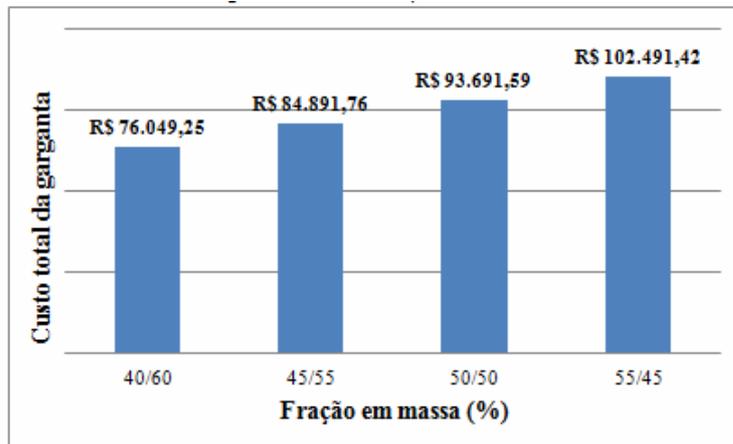


Fig.7. Custo total da garganta-Piche.

As figuras de 8 a 11 referem-se aos insumos da fabricação de gargantas de tubeira de cada um dos compósitos, utilizando-se resina, onde é considerada a fração (porcentagem) de varetas em massa que compõem a preforma inicial, e conseqüentemente o compósito final. Para os cálculos é considerada a massa específica final do produto de 1,60 g/cm<sup>3</sup>, e 5% em volume de poros.

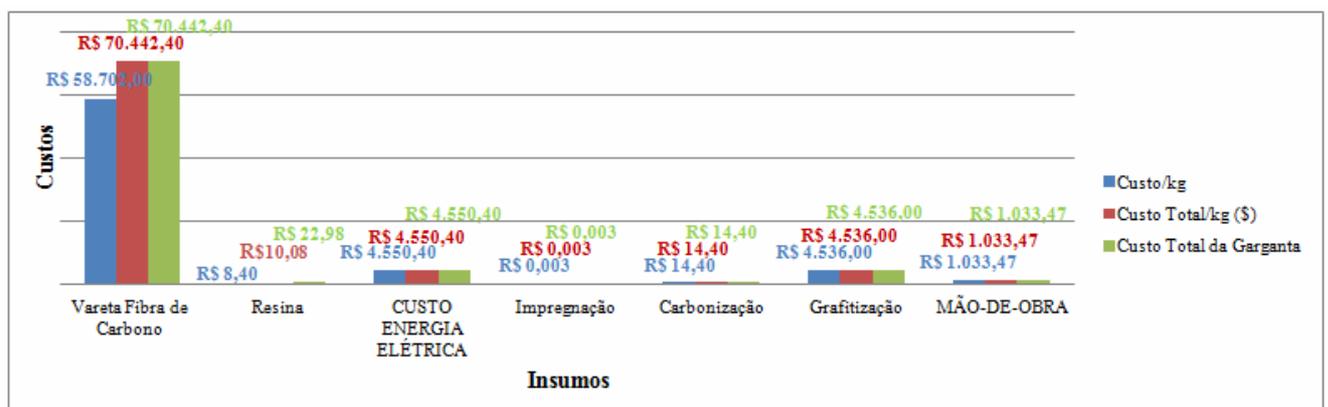


Fig.8. Custo total por insumo - Resina 40/60%.

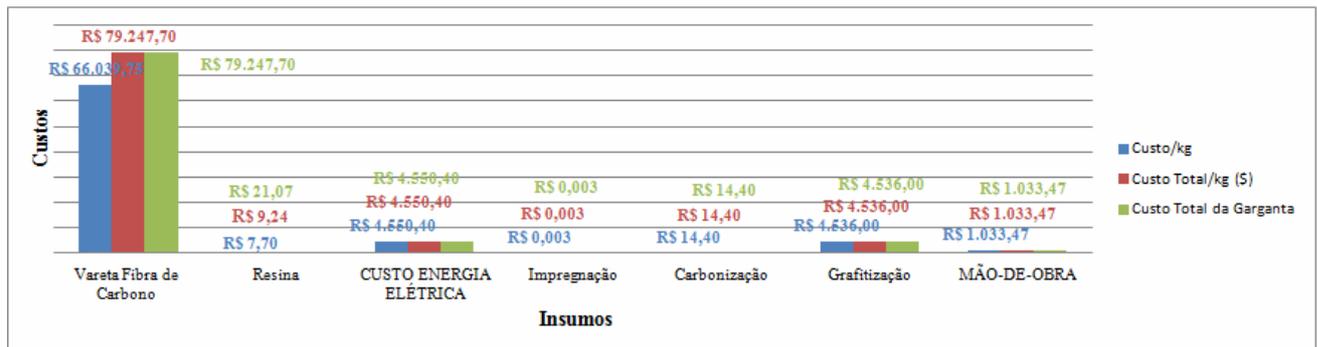


Fig.9. Custo total por insumo - Resina 45/55%.

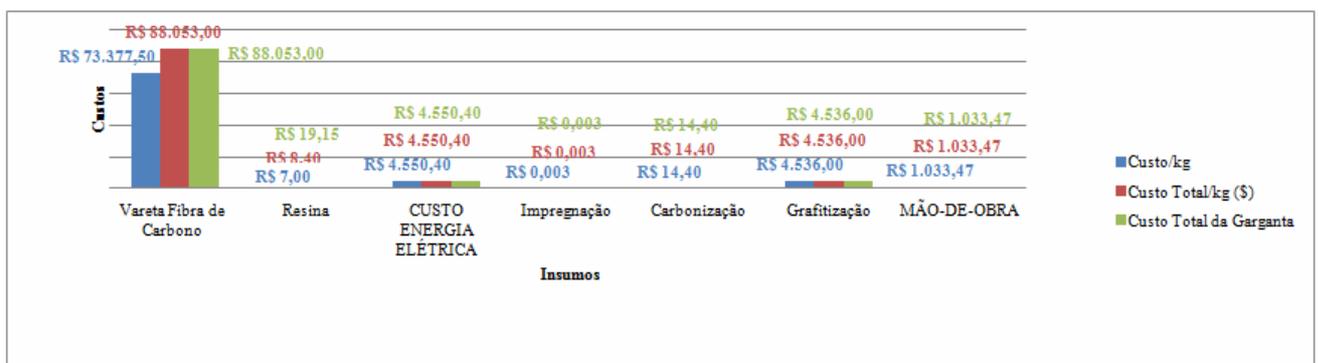


Fig.10 Custo total por insumo - Resina 50/50%.

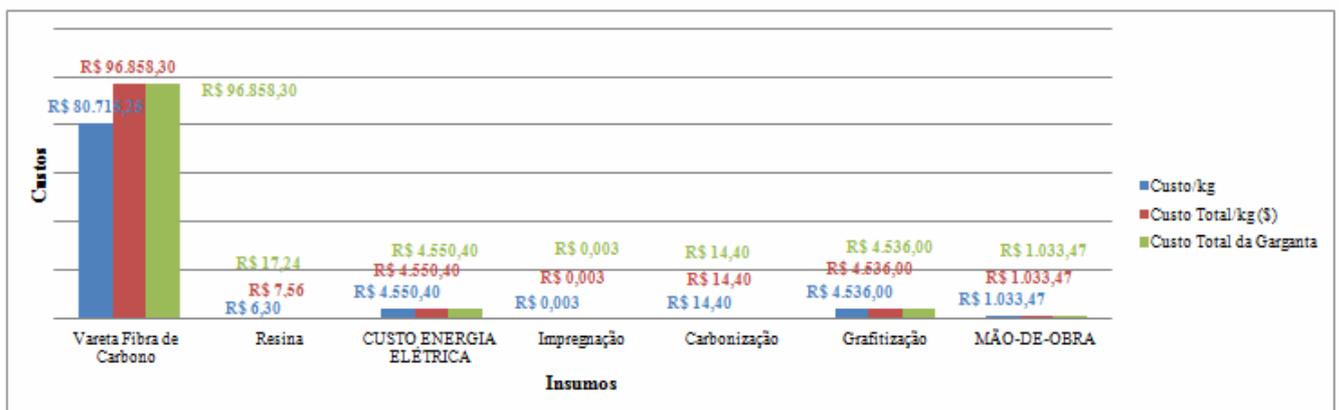


Fig.11. Custo total por insumo - Resina 55/45%.

A figura 12 representa o custo total da garganta de tubeira de foguete considerando a fração em massa para a Resina.

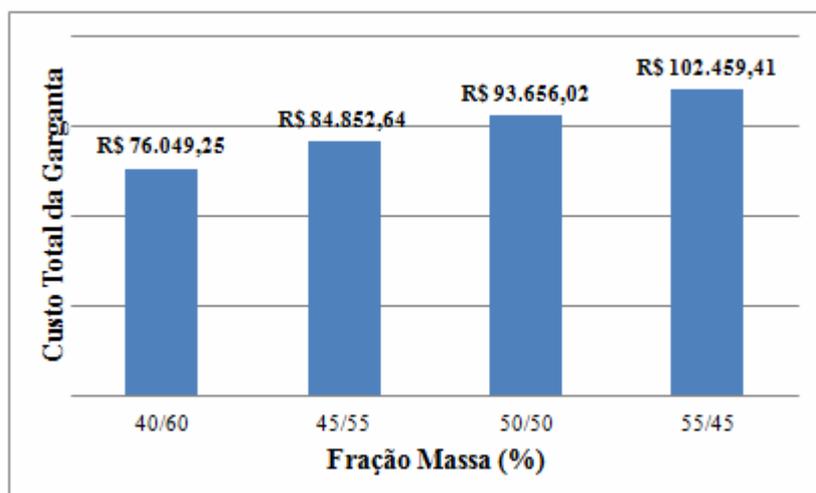


Fig.12. Custo total da garganta-Resina.

### Analise do Custo

Comparando o custo total das gargantas de tubeira, observa-se na fabricação de 20 gargantas o ganho produtivo se tem a vantagem do que produzir 14, ou seja, 30% mais barato no custo com mão de obra + processo, assim objetivando no lucro esperado.

Quantidade Gargantas de Tubeira	Custo Mão de Obra	Custo Processo	Custo Total
14	R\$ 1.033,47	R\$ 325,03	R\$ 1.358,50
20	R\$ 723,43	R\$ 227,52	R\$ 950,95

### 4. Conclusões

Os custos de fabricação foram estipulados, calculados e analisados no período de um ano. Portanto os custos envolvidos no processo de fabricação de gargantas de tubeiras, considerando a mão-de-obra, matéria-prima, custos com energia elétrica e custos com processos de Impregnação, Carbonização e Grafitação, como resultado são fabricados 20 gargantas de tubeiras, ou seja, durante o período de doze meses obtém um ganho de 30% no processo de fabricação e de mão de obra.



## Referências

1. PARDINI, L.C.; GONÇALVES, A. Processamento de compósitos termoestruturais de carbono reforçado com fibras de carbono. Journal of aerospace technology and management, v.1, n.2, p.231-241, 2009.
2. HOU, X., LI, H., SHEN, J., WANG, C., ZHU, Z. Effects of microstructure on the internal friction of carbom – carbon composites. Materials Science and Engineering, V. A286, p. 250- 256, 2000.
3. RAND, B. High performance carbon materials. HIPERMAT Conference on high materials, London, Sept, 1989.
4. [http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-495671688-carbeto-carbureto-de-silicio-po-abrasivo-malha-320-\\_JM](http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-495671688-carbeto-carbureto-de-silicio-po-abrasivo-malha-320-_JM).
5. <http://portuguese.alibaba.com/product-gs/hydrocarbon-black-660711922.html>.
6. <http://www.higher.com.br/projetos-especiais/5/projeto+basico+do+forno+acheson>.
7. <http://www.silaex.com.br/resinas%20ep%C3%B3xi.ht>