

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
NÍVEL MESTRADO**

MARCELO ANGELO TAPARELLO DE SOUZA

**AVALIAÇÃO ENERGÉTICA, AMBIENTAL E ECONÔMICA DE BOMBAS DE
CAVIDADES PROGRESSIVAS COM ROTORES PRODUZIDOS A PARTIR DE
DIFERENTES MATERIAIS**

**SÃO LEOPOLDO
2019**

Marcelo Angelo Taparello de Souza

**AVALIAÇÃO ENERGÉTICA, AMBIENTAL E ECONÔMICA DE BOMBAS DE
CAVIDADES PROGRESSIVAS COM ROTORES PRODUZIDOS A PARTIR DE
DIFERENTES MATERIAIS**

Dissertação apresentada como pré-requisito
parcial para a obtenção do título de Mestre em
Engenharia Mecânica, pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Mecânica da
UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Mendes Moraes

Coorientador: Prof. Dr. Walter Andrey Fontana

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Carlos Alexandre dos Santos – PUC-RS
Prof. Dr. André Canal Marques – Design Unisinos
Prof. Dr. Paulo Roberto Wander
Prof. Dr. João Batista Dias

SÃO LEOPOLDO
2019

S729a Souza, Marcelo Angelo Taparello de.

Avaliação energética, ambiental e econômica de bombas de cavidades progressivas com rotores produzidos a partir de diferentes materiais / Marcelo Angelo Taparello de Souza. – 2019.

171 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestre) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2019.

“Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Mendes Moraes
Coordenador: Prof. Dr. Walter Andrey Fontana.”

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

(Bibliotecária: Amanda Schuster – CRB 10/2517)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Carlos Alberto Mendes Moraes pela grande parceria e incentivo durante todo o trabalho, incrível disponibilidade em horários completamente alternativos, e encorajamento para aprendizagem e aplicação de ferramentas ambientais no estudo.

Ao professor Walter Andrey Fontana pela contribuição, atenção e revisão crítica dos conceitos mecânicos e resultados.

À minha querida namorada Eduarda pelo companheirismo e parceria em tantas horas de trabalho em noites, finais de semana e até mesmo nas férias. Pela frequente motivação e entendimento de minhas angústias.

À família e amigos por compreender minha ausência em tantas ocasiões.

Ao Henrique e a Stefanie por tornarem o primeiro e árduo ano de curso tão divertido.

Ao Matheus pela ajuda na construção da bancada experimental, montagem dos corpos de prova e interesse no tema do trabalho.

À Percolore Máquinas Dosadoras, através do Sr. Leandro Agostini, por confiar e financiar os materiais e instrumentos necessários para a realização dos testes experimentais.

À CAPES, pelo incentivo a pesquisa e pela bolsa PROSUP de mestrado, e ao CNPq pela bolsa de produtividade em desenvolvimento tecnológico – DT.

FONTES DE FINANCIAMENTO DA PESQUISA

A realização deste trabalho foi possível com o apoio das seguintes fontes financiadoras:



PERCOLORE
MÁQUINAS DOSADORAS

RESUMO

As bombas de cavidades progressivas (BCPs) surgiram em 1920, são equipamentos recentes comparadas as demais tecnologias de recalque de fluido. Em 1970 iniciou-se sua utilização na elevação artificial de petróleo, onde experimentaram um salto significativo de reconhecimento tecnológico e o despertar para outras aplicações na indústria. Entre elas, a partir de 2000, em máquinas dosadoras da indústria tintométrica para dosagem de colorantes. Esta aplicação dificilmente totaliza cem horas de uso ao longo da vida útil da BCP. No entanto, em aplicações da indústria em geral, bombas trabalham por milhares de horas, muitas vezes em condições severas, recalcando fluidos abrasivos, operando em altas pressões, sofrendo ataque químico. Neste contexto, materiais alternativos foram explorados para componentes de BCPs utilizadas na tintometria, dada a baixa exigência que experimentam. Este trabalho, através de uma metodologia com foco experimental, realizou uma avaliação energética, ambiental e econômica de quatro materiais distintos para o rotor de uma BCP: o tradicional aço revestido ao cromoduro, PA6, PEEK e alumínio Liga 6082. Foi construído um equipamento para os testes experimentais e foram obtidas as curvas características de cada BCP, avaliado o consumo de energia elétrica, desgaste de rotores e estatores e eficiência energética da bomba. O processo de fabricação dos rotores passou por medição de energia elétrica e insumos. Por fim, aplicaram-se as ferramentas de gestão ambiental P+L e AICV, auxiliada pelo software CES EduPack, e os rotores passaram por avaliação econômica. Os quatro materiais estudados para o rotor, atenderam as exigências do ponto de vista de durabilidade no cenário de aplicação na indústria tintométrica, não apresentando falha de inviabilidade funcional do equipamento ao final do período de testes, ou seja, perda de estanqueidade em repouso. Os resultados mostraram que os polímeros estudados não registraram incompatibilidade com o fluido de trabalho. Não foi identificado desgaste significativo nos pares estator-rotor e o tempo de vida mínimo não desafiou a integridade dos componentes. A melhor e pior eficiência energética das BCPs foram com rotores de Liga 6082 e PA6, respectivamente, apresentando diferença de 22,5% de consumo de energia elétrica. Entretanto, o rotor de PA6 apresentou a melhor eficiência energética e ambiental no processo de fabricação, além de ser o único passível de usinagem a seco. Todos materiais propostos registraram melhorias econômicas, onde os rotores de Liga 6082 e PA6 ultrapassam 90% de redução de custo.

Palavras-chave: Tintometria. Bomba de cavidades progressiva. Eficiência energética. Usinagem. Turbilhonamento. Impacto ambiental.

ABSTRACT

Progressive cavity pumps (PCPs) emerged in 1920 and are recent equipment compared to other fluid pumping technologies. In 1970, PCPs began to be used to the artificial elevation of petroleum, where they experienced a significant leap of technological recognition and the awakening to other applications in the industry. Among them, as of 2000, in dosing machines of the tinting industry for dosing of concentrated colorants. In this application, PCPs difficultly totaling one hundred continuous hours of use. However, in general industry applications, pumps work for thousands of hours, often under severe conditions, pumping abrasive fluids, operating at high pressures, undergoing chemical attack. In this context, alternative materials were explored for components of PCPs used in tinting, given the low demand they experience. This work, through a methodology with experimental focus, carried out an energetic, environmental and economical evaluation of four different materials for the rotor of a BCP: the traditional chromium-coated steel, PA6, PEEK and aluminum alloy 6082. An equipment was built for the experimental tests and the characteristic curves of each PCP were obtained, evaluating the electric energy consumption, rotors and stators wear and pump energy efficiency. Electrical energy and inputs from the rotor manufacturing process were evaluated. Finally, we applied the environmental management tools Cleaner Production and LCIA aided by CES EduPack software and an economic evaluation of the rotors was carried out. The materials studied for the rotor met the requirements of durability in the application of the tinting industry, and did not present a functional failure of the equipment at the end of the test period. The results showed that the studied polymers had no incompatibility with the working fluid. No significant wear was identified on the stator-rotor pairs and the minimum lifetime did not challenge the integrity of the components. The best and worst energy efficiency of the BCPs were with alloy 6082 and PA6 rotors, respectively, presenting a difference of 22.5% in electric energy consumption. However, the PA6 rotor presented the best energy and environmental efficiency in the manufacturing process, besides being the only one with dry machining capacity. All proposed materials reported economic improvements, where the alloy 6082 and PA6 rotors exceed 90% cost reduction.

Key-words: Tinting. Progressive cavity pump. Energy efficiency. Machining. Whirling. Environmental impact.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Dosadora e principais componentes do sistema tintométrico	23
Figura 2.2 – Agitador de mecanismo giroscópico para tintas	24
Figura 2.3 – Máquina dosadora manual Percolore MD-A1	25
Figura 2.4 – Máquinas dosadoras automáticas Percolore	26
Figura 2.5 – Par estator-rotor, elemento básico de uma BCP	27
Figura 2.6 – Corte longitudinal e transversal em um par estator-rotor	28
Figura 2.7 – Deslocamento do fluido nas cavidades formadas pelo par estator-rotor.....	28
Figura 2.8 – Representação da consequência do valor de w na seção transversal	30
Figura 2.9 – Representação das configurações cinemáticas possíveis de uma BCP.....	30
Figura 2.10 – Representação das cargas no estator e rotor.....	33
Figura 2.11 – Estator com típico desgaste abrasivo a partir de finas partículas no fluido	34
Figura 2.12 – Sistema tribológico de uma BCP	39
Figura 2.13 – Influência da dureza no desgaste abrasivo de diversos materiais puros	40
Figura 2.14 – Influência do ângulo e velocidade de impacto no desgaste erosivo.....	41
Figura 2.15 – Influência do tamanho da partícula no desgaste erosivo.....	42
Figura 2.16 – Representação dos mecanismos de escorregamento de uma BCP.....	44
Figura 2.17 – Diagrama da bancada de testes experimentais de Chen et al. (2013)	45
Figura 2.18 – Diagrama da bancada de testes experimentais de Nguyen et al. (2016)	46
Figura 2.19 – Bancada de testes experimentais de Whittaker (2013)	46
Figura 2.20 – Influência de parâmetros na vazão da BCP do estudo de Nguyen et al. (2016)	47
Figura 2.21 – Curva característica do estudo de Azevedo (2012) para fluidos com diferentes concentrações de gases	47
Figura 2.22 – Potência em relação à pressão no estudo de Azevedo (2012).....	48
Figura 2.23 – Eficiência volumétrica em relação ao gradiente de pressão do estudo de Azevedo (2012)	49
Figura 2.24 – Eficiência volumétrica em relação ao gradiente de pressão do estudo de Chen et al. (2013).....	49
Figura 2.25 – Classificação de processos de fabricação.....	50
Figura 2.26 – Ilustração do processo de usinagem por turbilhonamento	52
Figura 2.27 – Exemplo de turbilhonador comercializado pela NTK <i>Cutting Tools</i>	52
Figura 2.28 – Evolução da abordagem ambiental	54
Figura 2.29 – Fluxograma da abordagem convencional “fim-de-tubo” e a P+L	55

Figura 2.30 – Elementos essenciais da estratégia de P+L	55
Figura 2.31 – Níveis da estratégia de P+L	56
Figura 2.32 – Estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida.....	58
Figura 2.33 – Elementos de uma AICV conforme ISO 14042 (2000).....	60
Figura 2.34 – Informação do produto na ferramenta Eco-Audit do software CES EduPack...	61
Figura 2.35 – Informação do material, manufatura e fim de vida e transporte do produto na ferramenta Eco-Audit do software CES EduPack.....	62
Figura 2.36 – Informação do uso na ferramenta Eco-Audit do software CES EduPack.....	62
Figura 2.37 – Avaliação do Ciclo de Vida de Squeezes através do software Edupack.....	63
Figura 2.38 – Avaliação do Ciclo de Vida de um redutor através do software Edupack.....	64
Figura 3.1 – Desenho do rotor original da BCP da Percolore	65
Figura 3.2 – Rotores em aço SAE 12L14 revestido de cromo, originais da BCP da Percolore	65
Figura 3.3 – Desenho do rotor original da BCP da Percolore	66
Figura 3.4 – Bombas de cavidades progressivas da Percolore	66
Figura 3.5 – Metodologia, etapas 1 a 4.....	68
Figura 3.6 – Metodologia, etapas 5 a 9.....	69
Figura 3.7 – Projeto da bancada para testes experimentais das BCPs.....	72
Figura 3.9 – Interface do software de controle.....	74
Figura 3.9 – Construção da bancada para testes experimentais das BCPs.....	75
Figura 3.10 – Bancada de testes experimentais: identificação dos principais componentes....	76
Figura 3.11 – Diagrama dos pontos de avaliação.....	77
Figura 4.1 – Corpos de prova (rotores) e seus respectivos estatores.....	87
Figura 4.2 – Diâmetro da seção circular dos corpos de prova (rotores) de cada material.....	88
Figura 4.3 – Diâmetro maior dos corpos de prova (rotores) de cada material	88
Figura 4.4 – Histograma da avaliação de massa dos estatores	91
Figura 4.5 – Bombas montadas com os respectivos corpos de prova	92
Figura 4.6 – Desgaste médio de rotores e estatores em função do material do rotor	97
Figura 4.7 – Curva característica da BCP com rotor de aço SAE 12L14 cromado.....	98
Figura 4.8 – Curva característica da BCP com rotor de Poliamida 6.....	99
Figura 4.9 – Curva característica da BCP com rotor de PEEK	99
Figura 4.10 – Curva característica da BCP com rotor de alumínio Liga 6082.....	100
Figura 4.11 – Curva característica média das BCPs montadas com cada material de rotor ..	101
Figura 4.12 – Potência total da BCP com rotor de SAE 12L14 cromado	103

Figura 4.13 – Potência total da BCP com rotor de Poliamida 6 (PA6).....	104
Figura 4.14 – Potência total da BCP com rotor de PEEK.....	104
Figura 4.15 – Potência total da BCP com rotor de Alumínio Liga 6082	105
Figura 4.16 – Potência total média das BCPs montadas com cada material de rotor	105
Figura 4.17 – Energia e tempo consumidos para dosagem de 1000 litros de colorante.....	106
Figura 4.18 – Potência e energia elétrica de usinagem do rotor de aço SAE 12L14	108
Figura 4.19 – Potência e energia elétrica de usinagem do rotor de PA6.....	108
Figura 4.20 – Potência e energia elétrica de usinagem do rotor de PEEK.....	109
Figura 4.21 – Potência e energia elétrica de usinagem do rotor de alumínio Liga 6082	109
Figura 4.22 – Comparação do consumo de energia na usinagem dos diferentes materiais ...	110
Figura 4.23 – Energia específica de turbilhonamento dos diferentes materiais	111
Figura 4.24 – Energia específica de usinagem dos diferentes materiais	112
Figura 4.25 – Eficiência volumétrica da BCP com rotor de SAE 12L14 cromado.....	113
Figura 4.26 – Eficiência volumétrica da BCP com rotor de Poliamida 6 (PA6).....	114
Figura 4.27 – Eficiência volumétrica da BCP com rotor de PEEK.....	115
Figura 4.28 – Eficiência volumétrica da BCP com rotor de Alumínio Liga 6082.....	115
Figura 4.29 – Comparação entre eficiência volumétrica média das BCPs.....	116
Figura 4.30 – Eficiência global da BCP com rotor de SAE 12L14 cromado.....	117
Figura 4.31 – Eficiência global da BCP com rotor de Poliamida 6 (PA6).....	118
Figura 4.32 – Eficiência global da BCP com rotor de PEEK.....	118
Figura 4.33 – Eficiência global da BCP com rotor de Alumínio Liga 6082	119
Figura 4.34 – Comparação entre eficiência global média das BCPs.....	119
Figura 4.35 – Comparação entre eficiência mecânica média das BCPs.....	120
Figura 4.36 – Fluxograma de processo de fabricação do rotor	121
Figura 4.37 – Sistema de recuperação de fluidos de corte	125
Figura 4.38 – Comparação de energia embutida do material rotor original em relação aos tradicionalmente utilizados em BPCs.....	129
Figura 4.39 – Comparação de emissão de CO_2 equivalente do material do rotor original em relação aos tradicionalmente utilizados em BCPs.....	130
Figura 4.40 – Comparação de energia embutida do material original do rotor em relação aos materiais propostos	132
Figura 4.41 – Comparação de emissão de CO_2 equivalente do material original do rotor em relação aos materiais propostos	133
Figura 4.42 – Custo de cada rotor.....	135

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Propriedades físicas e químicas de elastômeros comuns em BCPs.....	32
Tabela 2.2 – Composição química do aço SAE 12L14.....	37
Tabela 2.3 – Principais mecânicas do aço SAE 12L14.....	37
Tabela 2.4 – Propriedades mecânicas do PA6.....	37
Tabela 2.5 – Propriedades mecânicas do PEEK.....	38
Tabela 2.6 – Composição química do aço SAE 12L14.....	38
Tabela 2.7 – Propriedades mecânicas do alumínio Liga 6082-T6.	38
Tabela 2.8 - Graus de abrasividade de alguns fluidos	39
Tabela 3.1 – Parâmetros enviados ao motor de passo para as avaliações	77
Tabela 3.2 – Parâmetros para cálculo da vazão nominal.....	79
Tabela 3.3 – Dados de usinagem do rotor	82
Tabela 3.4 – Consumo de insumos da usinagem do rotor de aço SAE 12L14.....	85
Tabela 4.1 – Metrologia dos rotores em aço SAE 12L14 cromados.....	89
Tabela 4.2 – Metrologia dos rotores em Poliamida 6 (PA6).....	89
Tabela 4.3 – Metrologia dos rotores em PEEK.....	90
Tabela 4.4 – Metrologia dos rotores em alumínio Liga 6082	90
Tabela 4.5 – Metrologia dos estatores em FKM	91
Tabela 4.6 – Massa específica do colorante	93
Tabela 4.7 – Absorção de fluido (colorante) pelos polímeros.....	93
Tabela 4.8 – Massa específica dos materiais utilizados no rotor e estator	94
Tabela 4.9 – Desgaste dos pares, rotor-estator, SAE 12L14 e FKM.....	95
Tabela 4.10 – Desgaste dos pares, rotor-estator, Poliamida 6 e FKM	95
Tabela 4.11 – Desgaste dos pares, rotor-estator, PEEK e FKM.....	96
Tabela 4.12 – Desgaste dos pares, rotor-estator, Liga 6082 e FKM	97
Tabela 4.13 – Módulo de elasticidade dos materiais do rotor e estator.....	102
Tabela 4.14 – Oportunidades de melhoria pela metodologia P+L	126
Tabela 4.15 – CES EduPack - Simulação 1 – Dados de entrada.....	128
Tabela 4.16 – CES EduPack - Simulação 2 – Dados de entrada.....	131
Tabela 4.22 – Comparação qualitativa dos diferentes materiais aplicados ao rotor da BCP .	136

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACN	Acrilonitrilo
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida
AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BCP	Bomba de cavidades progressivas
CAM	<i>Computer-aided manufacturing</i>
EPDM	Borracha de etileno-propileno-dieno
FISPQ	Ficha de Informação de Segurança para Produtos Químicos
FKM	Flúor-elastômero, popularmente conhecida como Viton®
HNBR	Borracha de acrilonitrilo butadieno hidrogenado
HVOF	<i>High Velocity OxyFuel Flame</i>
ISO	Organização Internacional de Normalização
NBR	Borracha de acrilonitrila-butadieno
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
PA6	Poliamida 6
PEEK	Polieteretercetona
P+L	Metodologia de Produção Mais Limpa
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
UNEP	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
UNIDO	Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial

LISTA DE SIMBOLOS

ΔP	Diferencial de pressão da BCP (kPa)
α	Aceleração angular (rev/min^2)
a_p	Profundidade de corte na usinagem (mm)
b	Largura de corte de usinagem (mm)
e	Excentricidade do helicoide da BCP (mm)
d_b	Diâmetro do material bruto (mm)
d_{HR}	Diâmetro externo do helicoide do rotor (maior diâmetro da BCP) (mm)
d_{HS}	Diâmetro circunscrito na seção oblonga do estator (mm)
d_R	Diâmetro da seção transversal do rotor (mm)
d_S	Diâmetro inscrito na seção oblonga do estator (mm)
E_{BCP}	Energia elétrica consumida pela BCP (Wh)
$E_{f,n}$	Energia elétrica consumida em cada operação de usinagem para cada material de rotor (Wh)
E_{usin}	Energia elétrica total consumida na usinagem (Wh)
f	Avanço de usinagem (mm)
F_c	Força de corte de usinagem (N)
h	Espessura de corte de usinagem (mm)
H	Dureza da superfície do rotor
I	Corrente elétrica (A)
k_f	Constante relacionada às características do fluido para desgaste
L_R	Passo do rotor (mm)
L_S	Passo do estator (mm)
m	Massa (g)
η_{mec}	Eficiência mecânica da BCP (%)
η_{vol}	Eficiência volumétrica da BCP (%)
η_s	Eficiência global da BCP (%)
n	Número de dentes ou entradas do helicoide da BCP
θ	Deslocamento angular (rev)
ρ	Massa específica (g/ml)
p	Passo do helicoide da BCP (mm)
P_e	Potência elétrica (W)

SiC	Carbeto de silício
T	Torque da BCP (Nm)
TRM	Taxa de remoção de material usinado (cm^3/min)
u	Energia específica de corte na usinagem (Wh/cm^3)
u_{turb}	Energia específica de turbilhonamento (Wh/cm^3)
u_{usin}	Energia específica de usinagem (Wh/cm^3)
v_c	Velocidade de corte de usinagem (m/min)
U	Tensão elétrica (V)
\dot{V}_n	Vazão nominal da BCP (ml/min)
$V_{n,f}$	Volume teórico deslocado por revolução para BCPs com folga entre estator e rotor (ml)
$V_{n,i}$	Volume teórico deslocado por revolução para BCPs com interferência entre estator e rotor (ml)
\dot{V}_r	Vazão real da BCP (ml/min)
\dot{V}_s	Vazão de escorregamento da BCP (ml/min)
ω	Velocidade angular da BCP (rev/min)
ω_{turb}	Velocidade angular do turbilhonador na usinagem (rev/min)
w	Interferência (ou folga) entre o rotor e estator (mm)
W_s	Carga na linha de selo da interface do rotor e estator (N)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	19
1.1 OBJETIVOS.....	20
1.1.1 Objetivo Geral	21
1.1.2 Objetivos Específicos.....	21
1.2 JUSTIFICATIVA	21
1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA.....	22
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 MÁQUINAS TINTOMÉTRICAS	23
2.1.1 Dosadoras manuais	24
2.1.2 Dosadoras automáticas	25
2.1.3 Escala de utilização de dosadoras.....	26
2.2 BOMBA DE CAVIDADES PROGRESSIVAS (BCP)	27
2.2.1 Geometria e cinemática	28
2.2.2 Estator	31
2.2.2.1 Materiais elastoméricos aplicados em estatores	31
2.2.2.2 Desgaste de estatores	32
2.2.3 Rotor.....	34
2.2.3.1 Materiais tradicionalmente aplicados em rotores	35
2.2.3.1.1 <i>Aço inoxidável</i>	35
2.2.3.1.2 <i>Carbeto de silício</i>	35
2.2.3.1.3 <i>Aço revestido de cromo eletrodepositado</i>	35
2.2.3.1.4 <i>Aço revestido de carbeto de tungstênio</i>	36
2.2.3.2 Materiais alternativos não convencionalmente aplicados em rotores.....	36
2.2.3.2.1 <i>SAE 12L14</i>	36
2.2.3.2.2 <i>Poliamida 6 (PA6)</i>	37
2.2.3.2.3 <i>PEEK</i>	37
2.2.3.2.4 <i>Alumínio Liga 6082-T6</i>	38
2.2.3.3 Desgaste de rotores	38
2.2.3.4 Abrasão por deformação plástica.....	40
2.2.3.5 Erosão por partículas sólidas	41
2.2.3.6 Desgaste por fratura frágil	42
2.2.3.7 Fabricação de rotores	43

2.2.4 Eficiência da BCP.....	43
2.2.5 Equipamentos para avaliação de BCPs.....	45
2.2.6 Curvas de desempenho	47
2.3 PROCESSO DE FABRICAÇÃO POR USINAGEM.....	49
2.3.1 Usinagem por turbilhonamento	51
2.3.2 Energia específica de corte e eficiência de usinagem	52
2.4 FERRAMENTAS DE GESTÃO AMBIENTAL	53
2.4.1 Programa de Produção Mais Limpa (P+L)	54
2.4.2 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)	57
2.4.2.1 Fase 1 – Definição de objetivo e escopo	58
2.4.2.2 Fase 2 – Análise de inventário.....	58
2.4.2.3 Fase 3 – Avaliação de impactos ambientais	59
2.4.2.4 Fase 4 – Interpretação	60
2.4.2.5 CES Edupack.....	60
2.4.2.6 Aplicações da ACV	62
3 MATERIAIS E MÉTODOS	65
3.1 MATERIAIS	65
3.1.1 Rotores.....	65
3.1.2 Estatores.....	66
3.1.3 Bombas de cavidades progressivas	66
3.1.4 Colorante tintométrico.....	67
3.2 MÉTODOS.....	67
3.2.1 Etapa 1 – Materiais	70
3.2.1.1 Produção de rotores	70
3.2.1.2 Produção de estatores	70
3.2.1.3 Aferição de rotores e estatores.....	70
3.2.1.3.1 Massa.....	70
3.2.1.3.2 Dimensional.....	70
3.2.1.3.3 Dureza	71
3.2.1.4 Montagem de bombas.....	71
3.2.2 Etapa 2 – Colorante e polímeros.....	71
3.2.2.1 Avaliação do fluido de trabalho (colorante)	71
3.2.2.2 Resistência dos polímeros ao fluido (colorante).....	72
3.2.3 Etapa 3 – Equipamento para testes e medições.....	72

3.2.3.1 Projeto e montagem do circuito hidráulico.....	73
3.2.3.2 Projeto e montagem do conjunto elétrico e eletrônico	73
3.2.3.3 Projeto e montagem da instrumentação	73
3.2.3.4 Instalação de software de controle.....	74
3.2.3.5 Apresentação do equipamento	74
3.2.4 Etapa 4 – Medições e avaliações na bancada.....	76
3.2.4.1 Desgaste de rotores e estatores	78
3.2.4.2 Pressão da BCP.....	78
3.2.4.3 Vazão da BCP.....	78
3.2.4.3.1 Vazão nominal.....	78
3.2.4.3.2 Vazão real.....	79
3.2.4.4 Consumo elétrico da BCP.....	79
3.2.5 Etapa 5 – Usinagem dos rotores.....	80
3.2.5.1 Consumo elétrico	80
3.2.5.2 Consumo de fluido de corte	81
3.2.6 Etapa 6 – Avaliação de eficiência energética	81
3.2.6.1 Eficiência da usinagem de rotores	81
3.2.6.1.1 Taxa de remoção de material	81
3.2.6.1.2 Energia específica de corte	82
3.2.6.2 Eficiência da BCP	83
3.2.6.2.1 Eficiência volumétrica.....	83
3.2.6.2.2 Eficiência mecânica.....	83
3.2.6.2.3 Eficiência global.....	84
3.2.7 Etapa 7 – Ferramentas de gestão ambiental.....	84
3.2.7.1 Produção Mais Limpa (P+L)	84
3.2.7.2 Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV).....	85
3.2.8 Etapa 8 – Custo.....	85
3.2.8.1 Matéria-prima	85
3.2.8.2 Processo de fabricação.....	85
3.2.8.3 Manutenção por desgaste.....	86
3.2.9 Etapa 9 – Resultados	86
3.2.9.1 Comparação qualitativa de desempenho dos materiais estudados	86
3.2.9.2 Seleção do melhor par estator-rotor.....	86
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	87

4.1 PRODUÇÃO, METROLOGIA DE ROTORES E ESTADORES E MONTAGEM DAS BOMBAS	87
4.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DO FLUIDO DE TRABALHO (COLORANTE).....	92
4.3 RESISTÊNCIA DOS POLÍMEROS AO FLUIDO DE TRABALHO	93
4.4 AVALIAÇÕES DAS BOMBAS NO EQUIPAMENTO DE TESTES	94
4.4.1 Desgaste de rotores e estadores.....	94
4.4.2 Curvas características das BCPs	97
4.4.3 Consumo elétrico das BCPs.....	102
4.5 PROCESSO DE USINAGEM DOS ROTORES	107
4.6 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	110
4.6.1 Eficiência de usinagem dos rotores.....	110
4.6.2 Eficiência das BCPs.....	112
4.7 FERRAMENTAS DE GESTÃO AMBIENTAL	121
4.7.1 Produção Mais Limpa (P+L).....	121
4.7.1.1 Redução na fonte	122
4.7.1.1.1 <i>Modificação no produto</i>	<i>122</i>
4.7.1.1.2 <i>Modificação no processo.....</i>	<i>122</i>
4.7.1.2 Reciclagem interna	124
4.7.1.3 Reciclagem externa.....	125
4.7.1.4 Resultados das possíveis melhorias	125
4.7.2 Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV).....	127
4.7.2.1 Simulação 1 – Material de referência em relação aos materiais tradicionais	127
4.7.2.2 Simulação 2 - Material de referência em relação aos materiais propostos.....	131
4.8 CUSTOS.....	134
4.9 COMPARAÇÃO QUALITATIVA DOS RESULTADOS PARA OS DIFERENTES MATERIAIS APLICADOS AO ROTOR.....	136
5 CONCLUSÃO.....	137
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	139
REFERÊNCIAS.....	141
APÊNDICE A.....	143
APÊNDICE B.....	144

1 INTRODUÇÃO

Há pelo menos quatro décadas a produção de tintas deixou de ser uma exclusividade da indústria e passou a ser compartilhada com o varejo especializado. O alto custo de estoque de cores prontas sem garantia de rotatividade, tanto nas fábricas, quanto nos pontos de vendas, a alta demanda por produtos, a dificuldade logística de movimento de grandes veículos para entregas fracionadas, o incentivo ao consumo consciente através da Política Nacional de Resíduos Sólidos, foram algumas das principais razões que pressionaram o setor, de modo definitivo, para um modelo onde o lojista tornou-se também uma unidade fabril de pronta entrega (ZAPAROLLI, 2009; FERREIRA, 2015; LINHARES, 2018).

Nesse contexto, surgiu nos Estados Unidos e Europa, nos anos 70, o sistema tintométrico. Esta nova proposta de produção, “*just in time*”, em que o lojista tem à sua disposição uma série de colorantes para preparar na hora a cor da tinta escolhida pelo cliente, através de máquinas chamadas de *mix machines*, *paint machines* ou *tinging machines*, chegou ao Brasil em 1992, por iniciativa da Tintas Coral, e ganhou rapidamente as lojas nacionais (ANÁLISE, 1998; ZAPAROLLI, 2009; MONFARDINI, 2013; LINHARES, 2018).

Desde então, no Brasil, fabricantes de tintas e varejistas apostam nos sistemas tintométricos como estratégia de melhor prestação de serviços ao consumidor final, ofertando uma grande variedade de cores, podendo chegar a ordem de 10 mil, comparado ao antigo sistema de cores prontas, chamado de *ready mix*. Além disso, permitiu que lojas reduzissem seus estoques, poupando espaço físico e recursos financeiros necessários para manter uma variada gama de produtos prontos (ZAPAROLLI, 2009; MONFARDINI, 2013; FERREIRA, 2015; LINHARES, 2018).

O sistema funciona da seguinte maneira: o consumidor escolhe em um catálogo, uma cor de uma determinada linha de produtos (bases) e um tamanho de embalagem, conforme sua necessidade. Então, o revendedor entra com as informações na máquina dosadora, independente do modelo, para realizar a dosagem de colorantes na embalagem contendo base. Após esta etapa, agita a massa pelo tempo necessário, até a finalização do produto, em uma máquina misturadora. Normalmente, as máquinas dosadoras operam com 3 a 4 bases e 12 a 16 colorantes, dependendo do fabricante de tintas, que misturados geram as mais variadas combinações de cores finais (ZAPAROLLI, 2009; LINHARES, 2018).

Para que o sistema tintométrico funcione com sucesso, respeitando um padrão de qualidade, dois pontos são fundamentais: um é a garantia, por parte do fabricante de tintas, do fornecimento de colorantes de qualidade ao lojista e, o outro, a capacidade de reprodução de

dosagens precisas e exatas da máquina tintométrica, de responsabilidade do fabricante do equipamento (ZAPAROLLI, 2009).

Neste cenário, as máquinas tintométricas, independentemente de serem manuais ou automáticas, devem apresentar sistemas de dosagem precisos e confiáveis, ou seja, não devem permitir, por exemplo, movimentação do fluido quando estão em repouso. Sendo assim, limitam-se para a aplicação nestes sistemas, bombas de deslocamento positivo, também chamadas de bombas volumétricas, que mantêm o fluido confinado numa carcaça e dosam quantidades fixas por ciclo. Exemplos dessas bombas são: pistão, fole, engrenagem, cavidade progressiva, entre outras. O objetivo do sistema de dosagem, independente de qual tipo de bomba, é realizar a operação com qualidade, precisão e exatidão.

Nas máquinas tintométricas, os sistemas de dosagem, mais especificamente, as bombas, experimentam um cenário de baixo esforço mecânico, pequeno diferencial de pressão, baixíssima abrasão e ataque químico pelo fluido recalçado, isto é, menor solicitação de integridade de seus componentes, comparada a grande maioria das aplicações. Entre as bombas aptas para estes sistemas, encontra-se as de cavidades progressivas, utilizada com a mesma forma construtiva, por exemplo, na indústria petrolífera, em que o grau de exigência sobre seus componentes é altíssimo, ou seja, extremamente oposto.

A bomba de cavidades progressivas (BCP) é uma variante da bomba de parafuso único. É constituída de um rotor em forma de parafuso helicoidal e um estator de elastômero vulcanizado, natural ou sintético, especificado em função da composição química e temperatura do fluido a ser bombeado (HENN, 2006). Sua principal aplicação ocorreu na indústria petrolífera, a partir dos anos 1970, firmando-se como o segundo método de elevação artificial mais utilizado nos campos de produção de petróleo (GAMBOA et al., 2003).

Seu desempenho e eficiência trabalhando com óleos de alta viscosidade extremamente abrasivos consolidou materiais, revestimentos e processos de fabricação de seus componentes fundamentais: rotor e estator. Tradicionalmente, mantêm-se como rotor de aço revestido de cromo-duro e estator elastomérico de FKM (flúor-elastômero), EPDM (borracha de etileno-propileno-dieno), NBR (borracha de acrilonitrila-butadieno), etc. Esse par apresenta bom rendimento ao trabalho abrasivo e elevadas pressões de trabalho (CHAPARRO FONSECA, 2008; ORCHARD, 2005; WHITTAKER, 2003).

1.1 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho, geral e específicos, estão dispostos a seguir.

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho consiste em avaliar a eficiência energética, impacto ambiental e custo do rotor de uma bomba de cavidades progressivas, utilizada em máquinas dosadoras tintométricas, produzido a partir de diferentes materiais.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a. Avaliar as propriedades do fluido de trabalho (colorante) e sua relação com os polímeros envolvidos no estudo;
- b. Desenvolver um equipamento ou bancada para testes das bombas que reproduza fielmente a forma construtiva de uma dosadora tintométrica;
- c. Avaliar a eficiência do processo de usinagem dos rotores a partir das diferentes matérias-primas propostas;
- d. Medir o desgaste mecânico de cada par estator-rotor após determinados períodos de operação na bancada de testes;
- e. Avaliar a eficiência volumétrica, mecânica e total de cada conjunto moto-bomba, ao longo do tempo de trabalho de cada respectivo par de estator-rotor;
- f. Avaliar ambientalmente o rotor fabricado a partir de cada material através de ferramentas de gestão ambiental;
- g. Analisar o custo de matéria-prima, fabricação e manutenção da BCP em função do material do rotor;
- h. Comparar os resultados dos diferentes materiais aplicados ao rotor do ponto de vista da eficiência energética e impactos ambientais;

1.2 JUSTIFICATIVA

O mercado de sistemas tintométricos está em pleno crescimento no Brasil. No ano de 2013 já estimava-se ser responsável por 30% a 35% do volume total de cores consumido (MONFARDINI, 2013). Portanto, o modelo experimentava uma grande expansão e poderia chegar, no futuro, a números como dos Estados Unidos e Europa, onde o sistema representa mais de 80% das vendas (TINTAS E VERNIZES, 2013).

O uso das bombas de cavidades progressivas nas máquinas tintométricas experimenta um cenário diferente das tradicionais aplicações, por exemplo, no petróleo. Para dosagem de colorantes a bomba sofre baixa exigência mecânica, pequeno diferencial de pressão, menor grau de abrasividade e ataque químico do fluido recalçado se comparado às aplicações tradicionais, fomentando a possibilidade de utilizar-se materiais alternativos para estes componentes.

Neste contexto, o estudo de diferentes materiais aplicados ao rotor de uma bomba de cavidades progressivas, utilizada na indústria tintométrica, poderia resultar em redução de consumo energético em seu processo produtivo, trazer benefícios ambientais e econômicos, aumentar a eficiência e qualidade de bombeamento e reduzir custos de manutenção.

Diante do expressivo desenvolvimento do sistema tintométrico no Brasil, resultados e melhorias de eficiência energética do tema estudado apresentam potencial de expansão em larga escala, almejando o fornecimento de produtos e serviços de qualidade ainda na fase do abastecimento da tecnologia tintométrica no mercado.

1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA

Este estudo está dividido em seis capítulos. O primeiro apresenta o tema e contextualiza o problema através de uma introdução, objetivos e justificativa. O segundo capítulo apresenta uma fundamentação teórica que embasa a metodologia, apresentada pelo terceiro capítulo. Neste, são expostos os materiais e métodos para desenvolvimento do trabalho. No quarto capítulo é apresentada a análise e discussão dos resultados obtidos nos testes e ensaios experimentais. Finalmente, o quinto capítulo expõe a conclusão, considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta a revisão bibliográfica necessária ao respaldo dos assuntos referentes ao tema proposto neste trabalho.

2.1 MÁQUINAS TINTOMÉTRICAS

Uma *mix machine* é composta de uma dosadora de corantes com um número variável de *canisters* (recipientes dos colorantes) e um agitador, também chamado de misturador ou batedor, que tem a função de homogeneizar a tinta. Os equipamentos podem ser manuais ou automáticos. Estes acompanham um software de formulação de cor que, dependendo do fornecedor, ainda realiza uma série de tarefas, como controle de estoque, relatórios de vendas e elaboração de preços. Os equipamentos são configurados de acordo com as especificações de cada fabricante de tinta (ZAMPAROLLI, 2009).

A Figura 2.1 ilustra os principais componentes do sistema tintométrico em uma dosadora: colorantes armazenados e embalagem contendo base posicionada para a dosagem. Já a Figura 2.2 apresenta um agitador, equipamento que mistura o produto após a dosagem.

Figura 2.1 – Dosadora e principais componentes do sistema tintométrico



Fonte: Adaptado de Geltint (2018).

Esses equipamentos fazem com que toda a cadeia de distribuição trabalhe com menos estoque, pois viabilizam a preparação de tintas dentro da revenda. Graças a eles, não é preciso

ter um enorme volume de latas de tintas nas prateleiras para atender aos diferentes gostos e necessidades dos compradores (FERREIRA, 2015).

Outro aspecto muito positivo em relação ao uso das máquinas tintométricas é a sua contribuição com o contexto ambiental. Não há consumo desnecessário de matéria-prima, energia e insumos para produção de tintas para estoque e, subsequentemente, em seu armazenamento. No cenário logístico, há menos necessidade de transporte de tintas prontas para pontos de venda, reduzindo consumo de combustíveis e emissões (FERREIRA, 2015).

Figura 2.2 – Agitador de mecanismo giroscópico para tintas



Fonte: Adaptado de Percolore (2018).

2.1.1 Dosadoras manuais

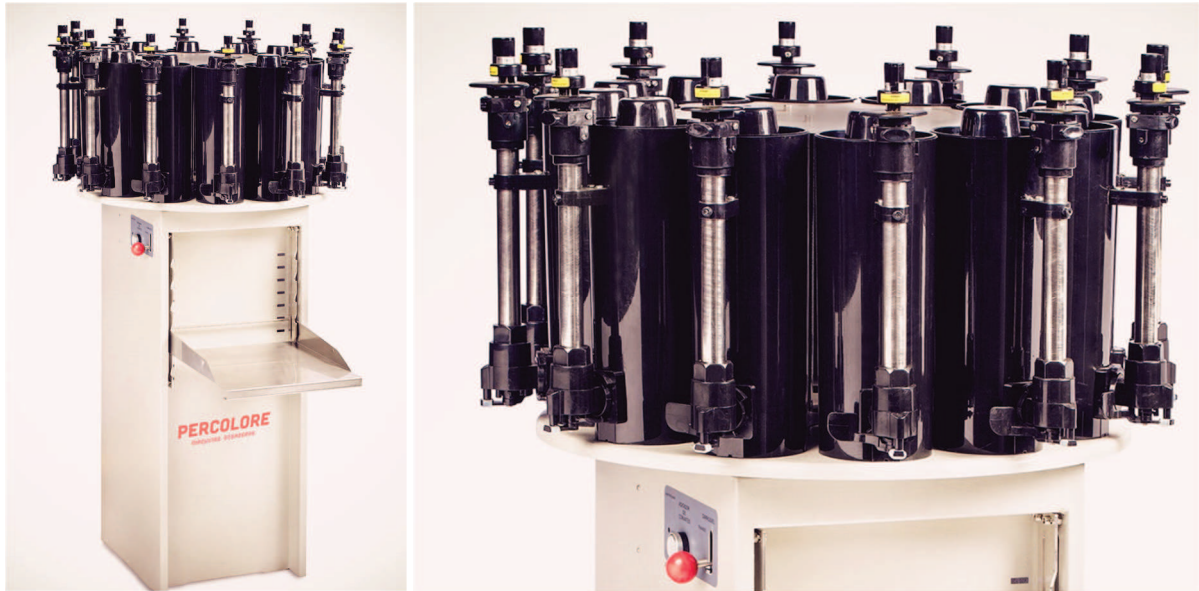
As dosadoras manuais são máquinas tintométricas no qual o operador ajusta manualmente as quantidades de cada colorante, individualmente, e realiza a dosagem dos mesmos no recipiente da base, que após agitação resultará na cor final. Logo, há dependência de consulta a um formulário ou banco de dados das cores a serem reproduzidas.

O mecanismo de dosagem mais utilizado nestes equipamentos é o de bombas de pistão, onde um êmbolo movimenta-se dentro de uma camisa com uma válvula para direcionar o fluxo. O primeiro movimento é realizado para sucção do colorante do reservatório e, o segundo, para dosar a quantidade para o exterior.

Estes equipamentos não apresentam grande produtividade, uma vez que o operador deve ajustar a medida, com perícia e atenção, em uma régua graduada e dosar cada colorante, um a

um. Portanto, sua aplicação se dá em pequenos estabelecimentos comerciantes de tintas. A Figura 2.3 apresenta um exemplo de dosadora manual.

Figura 2.3 – Máquina dosadora manual Percolore MD-A1



Fonte: Adaptado de Percolore (2018).

2.1.2 Dosadoras automáticas

As dosadoras automáticas são equipamentos tintométricos que, através de um computador integrado, armazenam o banco de fórmulas do fabricante de tinta, e executam a dosagem de colorantes sem responsabilidade de controle de quantidades por parte do operador.

Aplicam-se nestas dosadoras, principalmente, bombas de deslocamento positivo, que dosam a mesma quantidade por ciclo ou revolução. Atualmente utilizam-se bombas de pistão, fole, engrenagem, cavidades progressivas, entre outras, providas de acionamento controlado, ou seja, utilizam motores de passo, servos ou *encoders*, que monitoram seu posicionamento e controlam o volume dosado.

Essa modalidade de dosadoras apresenta grande produtividade e confiabilidade. São utilizados em ponto de venda de alta rotatividade, são capazes de produzir tintas de pequenas embalagens em segundos e de grandes embalagens em poucos minutos. A Figura 2.4 apresentam exemplos de dosadoras automáticas.

Figura 2.4 – Máquinas dosadoras automáticas Percolore



Fonte: Adaptado de Percolore (2018).

2.1.3 Escala de utilização de dosadoras

Cada fabricante de tinta possui sistema tintométrico próprio com suas devidas particularidades. Além do número de cores finais propostas de cada sistema, a diferença mais aparente, nas máquinas dosadoras, é no número de colorantes utilizados. Na indústria nacional, no âmbito da tinta imobiliária, existem sistemas que utilizam de 8 a 14 cores primárias.

Como os colorantes são produtos extremamente concentrados, são utilizados em pequena quantidade, para produção da cor final, comparado ao volume de base contida da embalagem. Em algumas formulações, do volume total da tinta, utilizam menos de 1% de colorante.

Portanto, uma produção de tintas na ordem de milhares de litros, consome em uma dosadora tintométrica apenas centenas de litros de colorantes. Uma escala de produção como esta é atingida em aproximadamente um ano em ponto de venda de altíssima demanda. Lojas convencionais ou pequenas, muitas vezes não atingem este nível de produção ao longo de sua existência.

Deste modo, há uma dimensão da durabilidade que deve apresentar a bomba de uma máquina dosadora, que ao longo da sua vida, salvo raras exceções, não atingirá a dosagem total de 1000 litros.

2.2 BOMBA DE CAVIDADES PROGRESSIVAS (BCP)

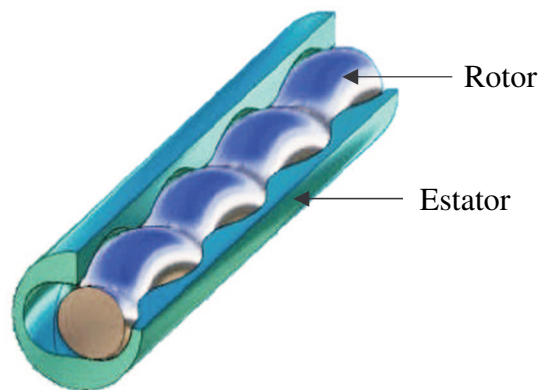
A bomba de cavidades progressivas (BCP) é uma máquina de fluido geradora, promove aumento de energia interna do fluido através do fornecimento de energia mecânica em seu eixo. Seu princípio de bombeamento foi concebido por René Moineau na década de 1930, classificando-se como bomba de deslocamento positivo, pois desloca um volume fixo de fluido a cada ciclo, ou seja, a cada revolução.

Quase todos os materiais fluidos podem ser bombeados com BCPs. Desde seu surgimento, um grande número de aplicações industriais diferentes faz com que esta bomba de deslocamento positivo seja uma das tecnologias mais utilizadas para o movimento de fluidos, desde petróleo bruto arenoso até lodo resultante de tratamento de esgoto (ANDRADE; VALÉRIO; CARVALHO, 2010).

Sua capacidade de atuar em reservatórios de óleos pesados e com elevada fração de gás, com bom desempenho, tornou-a um dos equipamentos de elevação artificial mais utilizados atualmente pela indústria petrolífera (AZEVEDO, 2012).

A BCP é formada basicamente por um rotor e um estator, conforme Figura 2.5. O rotor possui perfil de n dentes cilíndricos helicoidais e passo p , gira em relação ao estator, fixo na carcaça da bomba, de cavidade interna com perfil de $n + 1$ dentes cilíndricos e passo $2p$. Simultaneamente à rotação, o rotor prescreve um movimento cíclico excêntrico, segundo uma trajetória que varia com o valor de n (AAGE et al., 2006; GRAVESEN, 2008; CHEN et al., 2013).

Figura 2.5 – Par estator-rotor, elemento básico de uma BCP



Fonte: ANDRADE; VALÉRIO; CARVALHO (2010).

A primeira geração de BCPs utilizava rotores e estatores metálicos, formando cavidades móveis rígidas no espaço entre as duas superfícies. As seguintes gerações apresentaram um estator de elastômero, comum atualmente. (ANDRADE; VALÉRIO; CARVALHO, 2010).

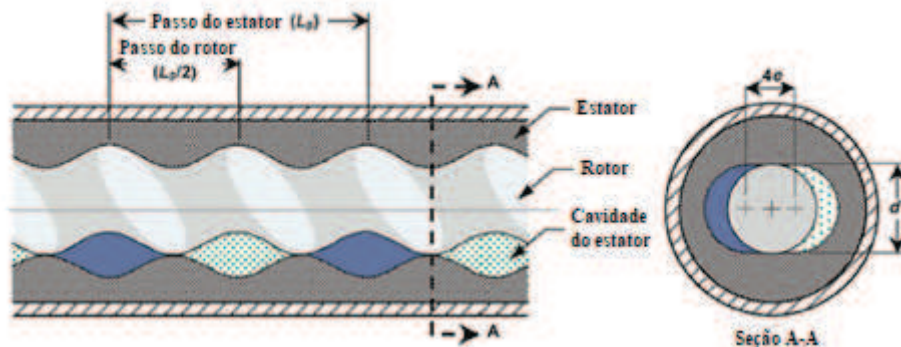
Os materiais dos rotores e estatores são problemas abordados por diversos fabricantes internacionais de BCPs, destacando sua importância no desempenho, vida útil e custo destes equipamentos (ORCHARD, 2005).

2.2.1 Geometria e cinemática

Na configuração clássica, ilustrada na Figura 2.6, quando $n = 1$, a BCP possui um rotor de formato cilíndrico helicoidal, estator elastomérico com cavidade interna oblonga helicoidal e o centro do rotor prescreve uma trajetória hipocicloide. O domínio de fluido é identificado pela cor azul, apresentando sua configuração de confinamento e transporte.

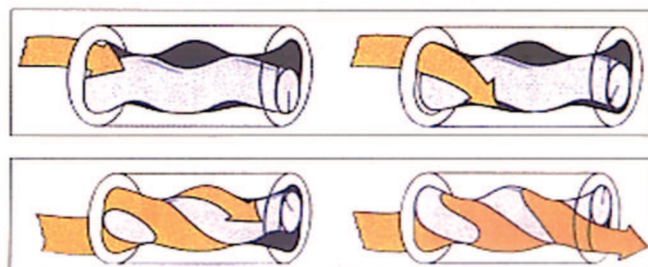
O rotor gira de forma excêntrica dentro do estator, portanto o fluido é movido helicoidalmente ao longo da bomba, desde a entrada até a descarga. A Figura 2.7 ilustra esse deslocamento (NGUYEN et al., 2016).

Figura 2.6 – Corte longitudinal e transversal em um par estator-rotor



Fonte: Adaptado de Nguyen et al. (2016).

Figura 2.7 – Deslocamento do fluido nas cavidades formadas pelo par estator-rotor



Fonte: WHITTAKER (2003).

As dimensões principais, que caracterizam um BCP, algumas apresentadas pela Figura 2.6, estão dispostas a seguir:

- e : excentricidade;
- d_R : diâmetro da seção transversal do rotor;
- $d_{HR} = d_R + 2e$: diâmetro externo do helicóide do rotor (maior diâmetro);
- d_S : diâmetro inscrito na seção oblonga do estator;
- $d_{HS} = d_S + 4e$: diâmetro circunscrito na seção oblonga do estator;
- $L_S = 2L_R$: passo do estator;
- $L_R = L_S/2$: passo do rotor;
- $w = d_R - d_S$: interferência ou folga entre o estator e rotor;

Destes parâmetros, quatro principais caracterizam uma BCP. A área da seção transversal da bomba é determinada pelo diâmetro do rotor (d_R), excentricidade (e) e interferência/folga (w). Quando esta área percorre o passo do estator (L_S), é obtido o volume deslocado em uma revolução (PESSOA, 2009).

O valor da interferência ou folga entre o estator e o rotor (w) influencia diretamente três características de uma BCP: estanqueidade ou escorregamento, cinemática do rotor e vazão nominal.

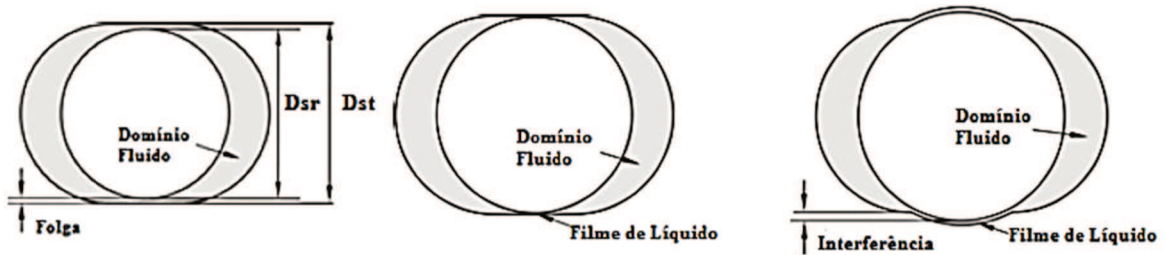
Quando d_S é maior que d_R ($w < 0$), a BCP em repouso permite passagem de fluido para o lado de menor pressão. Em determinadas aplicações, onde se necessita alto controle do volume bombeado, esse comportamento não é admitido, por exemplo, na indústria tintométrica. Para que a BCP seja estanque em repouso, é indispensável o uso de estatores elastoméricos, que permitam o trabalho com interferência ($w > 0$).

Na Figura 2.8 são representados os possíveis valores de w . A primeira da esquerda para direita apresenta uma configuração com folga (não estanque), na segunda $w = 0$ (estanqueidade instável) e, na terceira, com interferência (estanque).

Numa BCP de $n = 1$, o princípio cinemático de operação pode ter duas configurações. Numa bomba com interferência maior ou igual a zero ($w \geq 0$), a cinemática do rotor é uma consequência dos graus de liberdade restantes do contato com o estator, rotação e deslocamento em uma direção, fazendo-o descrever um movimento hipocicloide, apresentado à esquerda da Figura 2.9. Nas BCPs com folga ($w < 0$), a inexistência de contato entre o rotor e estator,

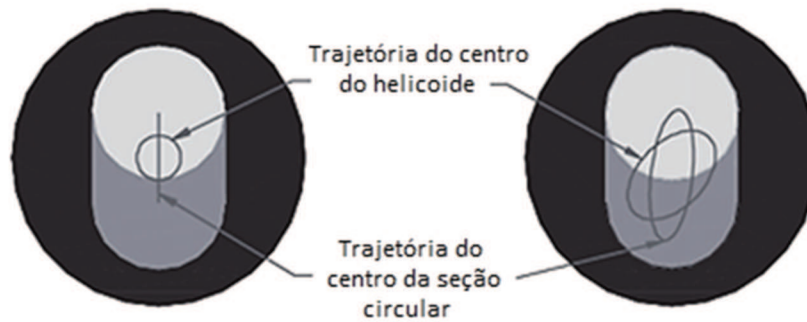
acrescenta um grau de liberdade ao rotor, possibilitando a rotação e deslocamento em duas direções, tornando o movimento elipsoidal, exibido à direita da Figura 2.9 (GAMBOA et al., 2003).

Figura 2.8 – Representação da consequência do valor de w na seção transversal



Fonte: AZEVEDO (2012).

Figura 2.9 – Representação das configurações cinemáticas possíveis de uma BCP



Fonte: Adaptado de Gamboa et al. (2003).

O volume teórico deslocado, em cada rotação, pode ser calculado para o caso de folga ou interferência, respectivamente, através das Equações 2.1 e 2.2 (GAMBOA et al., 2003).

$$V_{n,f} = [(4ed_R) - (8ew) - \pi(wd_R - w^2)]L_S \quad (2.1)$$

$$V_{n,i} = [(4ed_R) - (8ew) - \pi(wd_R - w^2)]L_S + \left[\frac{d_R^2}{2} \sin^{-1} \left(\frac{2}{d_R} \sqrt{wd_R - w^2} \right) - 2 \left(\frac{d_R}{2} - w \right) \sqrt{wd_R - w^2} \right] L_S \quad (2.2)$$

2.2.2 Estator

Os estatores, conforme mencionado anteriormente, podem ser rígidos ou flexíveis e definem características completamente distintas à BCP, como o caso da estanqueidade, não contemplada pelos estatores rígidos, geralmente em aço, além de seu elevado custo de fabricação. Atualmente, a grande maioria das BCPs utiliza estatores flexíveis, abordados a seguir.

2.2.2.1 Materiais elastoméricos aplicados em estatores

Os elastômeros, que podem ter origem natural ou sintética, possuem um elevado grau de elasticidade, isto é, quando submetidos a uma tensão, mesmo que pequena, deformam-se significativamente. Esta deformação é reversível, voltando o material às suas dimensões originais quando removida a tensão. Os elastômeros possuem uma estrutura macromolecular composta por longas cadeias, enroladas e torcidas entre si, o que lhes confere uma grande flexibilidade. A coesão molecular é garantida por reticulações, cujo número condiciona a rigidez do material.

Atualmente existe uma ampla gama de elastômeros para diferentes aplicações de pressão, temperatura, tipo de fluido, presença de gás, etc, em BCPs. Porém, as propriedades mecânicas e formulação química variam de um fabricante a outro. Para a bomba, as propriedades mais importantes são: dureza, resistência à tensão e alongamento, elasticidade, resistência à abrasão, resistência ao rasgo, fadiga e resistência a fratura por flexão, resistência ao calor, resistência aos líquidos, resistência aos gases (CHAPARRO FONSECA, 2008).

Destacam-se, para a maioria das aplicações, os seguintes elastômeros: borracha nitrílica (NBR) de média e alta concentração de acrilonitrilo (ACN), borracha de acrilonitrilo butadieno hidrogenado (HNBR) e borracha fluorada (FKM), conhecida popularmente por Viton. A Tabela 2.1 apresenta propriedades físicas e químicas destes elastômeros.

Tabela 2.1 – Propriedades físicas e químicas de elastômeros comuns em BCPs

Propriedade	NBR - ACN médio	NBR - ACN alto	HNBR	FKM (Viton)
Propriedades mecânicas	Excelente	Média	Muito boa	Baixa
Resistência à abrasão	Boa	Média	Boa	Baixa
Resistência à aromáticos	Média	Boa	Média	Muito boa
Resistência à água (100°C)	Média	Baixa	Boa	Excelente
Temp. máxima de trabalho	95°C	105°C	135°C	150°C
Resistência à gases	Média	Boa	Boa	Muito boa
Resistência a H_2S	Média	Muito baixa	Boa	Excelente

Fonte: Adaptado de Chaparro Fonseca (2008).

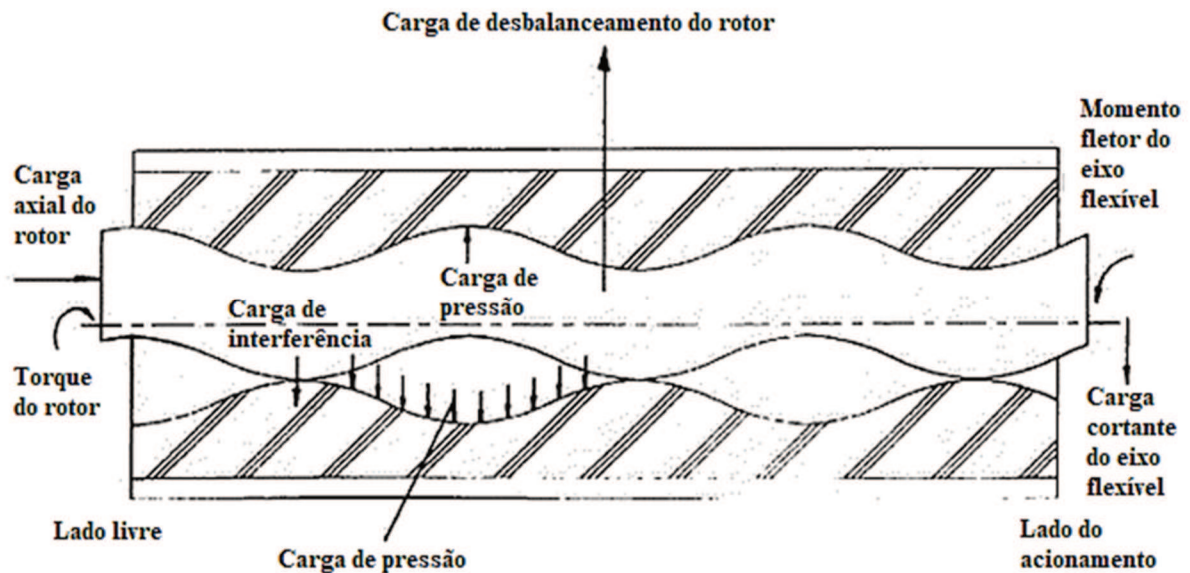
2.2.2.2 Desgaste de estatores

Durante a atividade de uma BCP, determinadas cargas são impostas ao estator, em consequência de seu conceito de funcionamento e forma construtiva. Essas cargas podem ter efeito direto sobre o comportamento de desgaste dentro do elemento de bombeamento. A Figura 2.10 ilustra esquematicamente suas atuações, descritas a seguir (WHITTAKER, 2003):

- Uma carga desbalanceada, ou carga radial, reage na interface de contato entre o rotor e o estator, resultante da montagem excêntrica do rotor em relação ao eixo da bomba;
- O torque de rotação, necessário para girar o rotor, exerce no estator um momento torçor na interface de contato;
- O diferencial de pressão, entre a entrada e saída da bomba, causa uma carga axial no rotor, atuando como uma carga longitudinal no estator, através da interface de contato com o rotor, e axial na junta ou acoplamento do eixo;
- A interferência entre o rotor e o estator, quando existente, cria uma carga compressiva na interface de contato do estator elastomérico. Uma complicação para a carga resultante deste contato é a espessura variável do estator que rege a rigidez de sua seção.
- A pressão do fluido dentro das cavidades age como uma carga de compressão direta no estator elastomérico e sobre o rotor que, por sua vez, também é transmitida ao estator pela interface de contato;
- A energia do motor, transferida para um eixo concêntrico, necessita de um acoplamento ou junta para transmitir, excentricamente, o movimento ao rotor. Essa junta acomoda as diferenças de movimento de rotação entre eles. Comumente são utilizadas juntas cardan, discos, pinos ou uma junta do tipo eixo flexível. Esta última exerce uma carga lateral e

um momento fletor no estator, através do rotor, sendo máxima na entrada e tendente a zero na saída deste elemento de bombeamento.

Figura 2.10 – Representação das cargas no estator e rotor



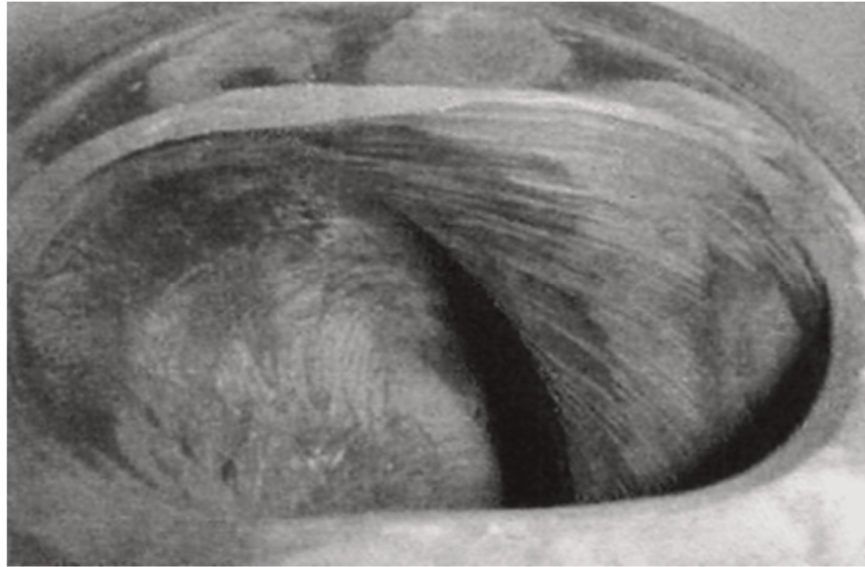
Fonte: Adaptado de Whittaker (2003).

O material do estator influencia diretamente o desempenho e desgaste de uma BCP ao longo de sua operação. Os estatores metálicos não sofrem cargas inerentes a interface de contato com o rotor. Portanto, estatores elastoméricos, além de mais utilizados em BCPs, são mais exigidos mecanicamente e, conseqüentemente, necessitam que seu material apresente propriedades condizentes com esses esforços.

Dentre as cargas apresentadas, as axiais e radiais são as maiores contribuintes para o desgaste nas cavidades do estator. O carregamento hidráulico, causado pela pressão diferencial através da bomba, é o responsável pela axial, e o maior influenciador da radial (WHITTAKER, 2003).

A Figura 2.11 mostra um estator com típico desgaste abrasivo de trabalho a longo prazo com fluido contendo finas partículas sólidas.

Figura 2.11 – Estator com típico desgaste abrasivo a partir de finas partículas no fluido



Fonte: Adaptado de Whittaker (2003).

2.2.3 Rotor

O funcionamento de uma BCP exige do material do rotor determinadas características para sua durabilidade. A interferência com o estator impõe esforços de compressão, que aliado a rotação do componente, resulta em uma carga de flexo-torção em regime de fadiga. O contato das superfícies promove desgaste abrasivo entre elas, influenciado pelas características do fluido bombeado que, por sua vez, também colabora com a corrosão ou incrustações na superfície do rotor. A Figura 2.10 ilustra as cargas impostas no rotor e estator.

Tradicionalmente os rotores metálicos recebem tratamento de superfície por camada de cromo duro eletrodepositado (WHITTAKER, 2003; ORCHARD, 2005). A camada é um meio de proteção para corrosão, abrasão e erosão. O cromo duro apresenta resistência ao desgaste e ataque químico, habilitando-o para aplicação de muitos fluidos. Este revestimento possui acabamento liso, conferindo baixo coeficiente de atrito com o estator elastomérico e é extremamente importante para minimizar o torque dinâmico e, principalmente, o de partida quando a bomba não está lubrificada.

Atualmente, para bombeamento de fluidos extremamente abrasivos são utilizados nos rotores soluções como: revestimentos cerâmicos, carbetos de tungstênio, e rotores sólidos de carbetos de silício (WHITTAKER, 2003).

2.2.3.1 Materiais tradicionalmente aplicados em rotores

2.2.3.1.1 *Aço inoxidável*

Os aços inoxidáveis pertencem a um grupo extenso de ligas especiais, especificamente desenvolvidas para resistir à corrosão. Outras características desejáveis podem incluir excelente capacidade de conformação, alta tenacidade na temperatura ambiente e a temperaturas criogênicas e boa resistência à oxidação e à fluência em temperaturas elevadas. O cromo é o elemento de liga que garante resistência à corrosão aos aços inoxidáveis (KWIETNIEWSKI e KISS, 2011). Normalmente, nos rotores de BCPs são utilizados os aços inoxidáveis austeníticos AISI 310 e AISI 316 e o martensítico AISI 420.

2.2.3.1.2 *Carbeto de silício*

O carbeto de silício (SiC) é um material cerâmico com diversas aplicações nas indústrias de refratários, de abrasivos e metalúrgica devido a suas propriedades mecânicas, elétricas e químicas exclusivas, como resistência à corrosão, dureza, e é inerte quimicamente a muitos materiais (LIMA, 2011). A ampla variedade de propriedades é atribuída ao alto caráter covalente da ligação existente entre os átomos de carbono e silício (SILVA, 2009).

Sólidos covalentes, em geral, apresentam baixa densidade, isto é ocasionado pelo pequeno empacotamento oriundo da direcionalidade da ligação covalente. No carbeto de silício, os átomos de carbono e silício são covalentemente ligados e estão arrançados em tetraedros coordenados, seja na forma SiC_4 ou CSi_4 (SILVA, 2009).

2.2.3.1.3 *Aço revestido de cromo eletrodepositado*

Cromo duro é o revestimento eletrodepositado mais usado para obter altos níveis de dureza, resistência ao desgaste e corrosão, e baixo coeficiente de atrito para aplicações na indústria aeroespacial, automotiva e petroquímica (SOUZA et al., 2000). Nos rotores de BCPs, tradicionalmente este revestimento é aplicado a aços ao carbono e aços inoxidáveis.

A eletrodeposição, muitas vezes chamada de galvanização, é definida como a deposição de um revestimento por eletrólise, ou seja, deposição de uma substância sobre um eletrodo imerso em um eletrólito, pela passagem de corrente elétrica através do eletrólito. O cromo duro

é obtido a partir de uma solução contendo ácido crômico (H_2CrO_3) e um catalisador com proporções adequadas (CASTRO, 2012).

A fina camada eletrodepositada de cromo possui cerca de $5 \mu m$ de espessura, apresenta alta dureza, entre 800 e 1200 *HV*, baixa rugosidade, praticamente não permite adesão de partículas, eliminando o risco de incrustações e engripamentos durante o trabalho.

2.2.3.1.4 Aço revestido de carbeto de tungstênio

O revestimento de carbeto de tungstênio é feito a partir da aspersão térmica HVOF (*High Velocity OxyFuel Flame*). Este tratamento possui propriedades de resistência ao desgaste, corrosão e adesão ao substrato.

Neste processo, o material a ser depositado encontra-se na forma de pó, que é injetado em uma chama de alta velocidade. As partículas são aquecidas e projetadas em alta velocidade contra uma superfície previamente preparada, onde após o impacto e deformação das mesmas levam a formação e adesão do revestimento ao substrato. Devido às altas velocidades de impacto neste processo, os revestimentos possuem porosidade extremamente baixa (tipicamente $< 1\%$) e elevada força de adesão em relação aos processos de aspersão térmica convencionais (TAKIMI; POSSAMAI; BERGMANN, 2002). Similarmente ao cromo duro, o revestimento de carbeto de tungstênio também é aplicado, em geral, em rotores de aço ao carbono ou inoxidável.

2.2.3.2 Materiais alternativos não convencionalmente aplicados em rotores

Os materiais não convencionalmente aplicados em rotores de BCPs podem ser entendidos como os de baixa dureza, teoricamente baixa resistência ao desgaste abrasivo, como aços de baixo carbono, metais não ferrosos e polímeros. Sendo os dois últimos resistentes à oxidação.

2.2.3.2.1 SAE 12L14

O aço SAE 12L14, também conhecido comercialmente como *Chumballoy*, é um aço resulfurado, possui alto teor de enxofre, baixa resistência mecânica e ótima usinabilidade pela adição de chumbo propicia a lubrificação da aresta de corte das ferramentas. Sua composição química é apresentada na Tabela 2.2 e suas principais propriedades na Tabela 2.3.

Tabela 2.2 – Composição química do aço SAE 12L14.

C max (%)	Si max (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Pb (%)
0,15	0,05	0,85 – 1,15	0,04 – 0,09	0,26 – 0,35	0,15 – 0,35

Tabela 2.3 – Principais mecânicas do aço SAE 12L14.

Propriedade	Valor
Densidade (g/cm ³)	7,86
Módulo de elasticidade (MPa)	200000
Tensão de escoamento (MPa)	430
Resistência a flexão (MPa)	300
Dureza (HB)	175

2.2.3.2.2 Poliamida 6 (PA6)

O PA6, possui o grupo funcional amida (CONH) e é polimerizado a partir da caprolactama, que possui seis átomos de carbono. É muito conhecido pelo nome comercial da primeira poliamida lançada no mercado pela DuPont: Nylon. Suas principais propriedades são apresentadas na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Propriedades mecânicas do PA6.

Propriedade	Valor
Densidade (g/cm ³)	1,14
Módulo de elasticidade (MPa)	2800
Resistência a tração (MPa)	70
Resistência a flexão (MPa)	39
Dureza (Shore D)	72

2.2.3.2.3 PEEK

O polímero PEEK, polieteretercetona, é um termoplástico de engenharia poliaromático, com cadeia linear e semicristalino, com ótima rigidez, durabilidade, resistência química e mecânica. Suas principais propriedades são apresentadas na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Propriedades mecânicas do PEEK.

Propriedade	Valor
Densidade (g/cm ³)	1,31
Módulo de elasticidade (MPa)	4200
Resistência a tração (MPa)	116
Resistência a flexão (MPa)	175
Dureza (Shore D)	85

2.2.3.2.4 Alumínio Liga 6082-T6

A Liga de alumínio 6082-T6 é empregada em aplicações estruturais, incluindo vergalhões, barras, tubos e perfis. Apresenta boa resistência à corrosão, média resistência mecânica, boa soldabilidade. A têmpera T6 lhe confere boas propriedades para usinabilidade. Sua composição química é apresentada na Tabela 2.6 e suas principais propriedades na Tabela 2.7.

Tabela 2.6 – Composição química do aço SAE 12L14.

Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Cr (%)	Zn (%)	Ti (%)	Outros (%)	Al
0,7 – 1,3	0 - 0,05	0 – 0,1	0,4 – 1	0,06 – 1,2	0 – 0,25	0 – 0,2	0 – 0,1	0,05 – 0,15	Restante

Tabela 2.7 – Propriedades mecânicas do alumínio Liga 6082-T6.

Propriedade	Valor
Densidade (g/cm ³)	2,7
Módulo de elasticidade (MPa)	70000
Tensão de escoamento (MPa)	255
Dureza (HB)	100

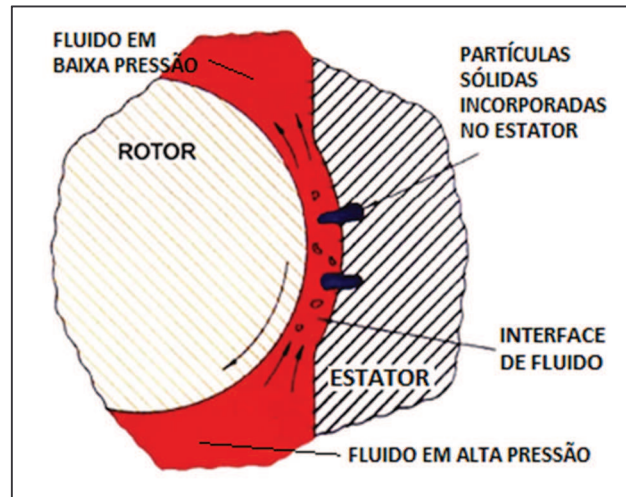
2.2.3.3 Desgaste de rotores

O desgaste mecânico está diretamente ligado à microestrutura e composição dos materiais envolvidos e das condições de contorno do sistema. O desgaste muda drasticamente mesmo com uma mudança relativamente pequena no sistema tribológico, que é composto por parâmetros dinâmicos, ambientais e do material (KATO e ADACHI, 2000).

Numa BCP, o sistema tribológico, ilustrado pela Figura 2.12, é formado pelo rotor, estator, filme de fluido de alta pressão na interface e o domínio de fluido nas cavidades. O

movimento relativo do rotor no transporte do fluido e, conseqüentemente, das partículas sólidas do mesmo, pode causar abrasão e erosão (WHITTAKER, 2003).

Figura 2.12 – Sistema tribológico de uma BCP



Fonte: Adaptado de Whittaker (2003).

O filme de fluido varia seu grau de abrasividade conforme o tipo e quantidade de particulado sólido presente. Para tintas, esta característica é obtida através da norma ABNT NBR 8621 (2014). A Tabela 2.8 apresenta o grau de abrasividade de alguns fluidos conhecidos.

Tabela 2.8 - Graus de abrasividade de alguns fluidos

Grau de abrasividade	Fluidos
Nulo	Água potável, bebida engarrafada, vinhos, combustíveis, fluidos lubrificantes limpos, cremes cosméticos, shampoo, etc.
Baixo	5% v/v de sólidos, água de mar ou rio contendo até 2% de areia, lodo de esgoto sem areia, cremes de biscoito, mistura de bolo, látex, óleos de motor usados, etc.
Médio	10% v/v de sólidos, argila até 55% de sólidos, água de drenagem (5% poeira de cimento), lamas de argila bentonite, argila da China 60% p/p (10 microns), cimento e água 20% p/p, pasta de dentes, lamas de tinta, etc.
Alto	15% v/v de sólidos, mistura de gesso 30% p/p sólidos, cimento de pasta de cimento (55% de areia / 30% de cimento / 15% de água), água de mina com 15% de areia de sílica (malha 20), Di-óxido de titânio 60% p/p sólidos finos, óleos de corte contendo cavaco metálico, massa de pedra (granito, mármore e partículas de ardósia) 25-30% p/p, etc.

Fonte: Adaptado de Whittaker (2003).

O desgaste pela ação do fluido, na bomba de cavidade progressiva, ocorre através de três mecanismos: abrasão por deformação plástica, erosão por partícula sólida e desgaste por fratura frágil.

2.2.3.4 Abrasão por deformação plástica

A abrasão por deformação plástica é resultado de uma interface atritando que pode apanhar restos de desgaste ou partículas sólidas da vizinhança. Portanto, ocorre quando o material é removido da superfície do componente pela ação de corte ou goivagem de partículas duras, ou ainda pelo rolamento de metal contra metal (NASCIMENTO e BAPTISTA, 2018).

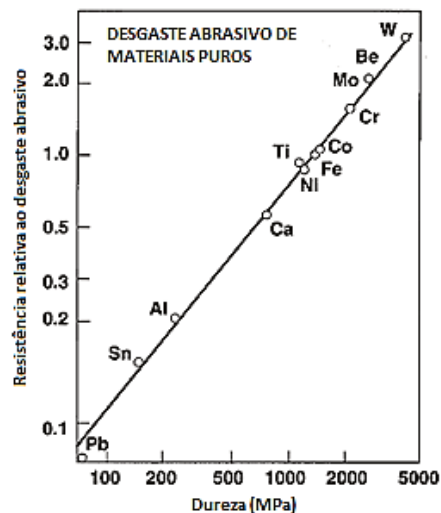
A teoria clássica de abrasão por deformação plástica é apresentada pela Equação 2.3.

$$\text{Taxa de desgaste} \propto \frac{k_f W_s \omega}{H} \quad (2.3)$$

Para uma BCP, W_s é a carga na linha de selo da interface do rotor e estator, ω a velocidade angular do rotor, H é a dureza da superfície do rotor e k_f uma constante relacionada às características do fluido.

A expressão mostra que a vida útil do rotor é prolongada com o aumento da dureza da superfície, menor velocidade de trabalho e interferência com o estator, já que esta última influencia diretamente a carga na linha do selo. A Figura 2.13 representa graficamente a influência da dureza de materiais puros na resistência à abrasão.

Figura 2.13 – Influência da dureza no desgaste abrasivo de diversos materiais puros



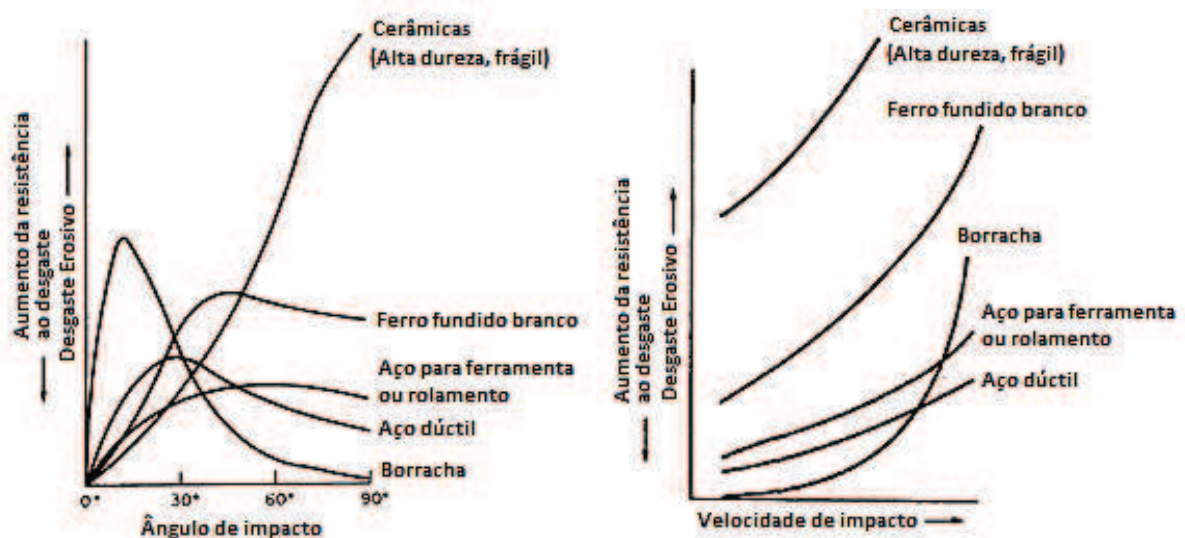
Fonte: Adaptado de Kato e Adachi (2000).

2.2.3.5 Erosão por partículas sólidas

Este tipo de desgaste resulta do impacto de partículas sólidas ou gotas líquidas sobre a superfície do componente. Estas partículas são carregadas geralmente a altas velocidades em meio fluido. A taxa de erosão depende da energia cinética das partículas, ou seja, é influenciada pela quantidade de partículas, sua massa e velocidade com que atingem a superfície do componente (WHITTAKER, 2003; NASCIMENTO e BAPTISTA, 2018).

A teoria da erosão clássica sustenta que a resposta de um material a erosão depende da ductilidade ou fragilidade e do ângulo de impacto dos abrasivos. A partícula influencia fortemente a gravidade da erosão, conforme ilustram as Figuras 2.14 e 2.15 (WHITTAKER, 2003). Conforme a Figura 2.14, o aço inoxidável, utilizando a curva de aço dúctil, experimenta aumento da erosão com ângulos de impacto de 0° a 30° , redução aproximadamente linear de 30° a 90° e aumento gradativo da erosão com a velocidade de impacto. Já para o carbeto de silício e os revestimentos de cromo e carbeto de tungstênio, utilizando-se a curva dos materiais cerâmicos ou de alta dureza, o desgaste erosivo aumenta com o ângulo de impacto, atinge o valor máximo para 90° e apresenta-se como o maior dentre todos os materiais. Comportamento similar é observado com a velocidade de impacto e, para este parâmetro, os materiais de alta dureza, comparado aos demais, apresentam maior erosão da superfície com o aumento da velocidade de impacto.

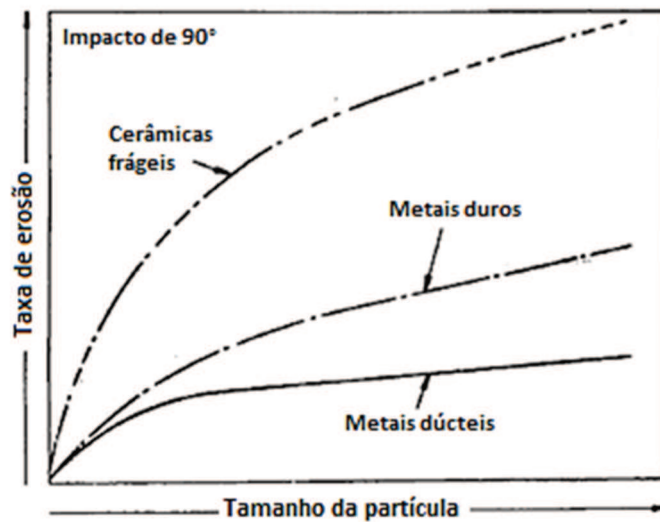
Figura 2.14 – Influência do ângulo e velocidade de impacto no desgaste erosivo



Fonte: Adaptado de Whittaker (2003).

O ângulo de impacto interfere inversamente entre os materiais dúcteis e frágeis. Nos dúcteis, o desgaste erosivo tem maior relevância em ângulos de impacto pequenos, enquanto que para os frágeis, o máximo ocorre nos impactos perpendiculares. Já o tamanho da partícula, a partir da Figura 2.15, é diretamente proporcional à taxa de desgaste para todos os materiais, tendo maior significância para os cerâmicos ou metais de alta dureza.

Figura 2.15 – Influência do tamanho da partícula no desgaste erosivo



Fonte: Adaptado de Whittaker (2003).

2.2.3.6 Desgaste por fratura frágil

Materiais frágeis têm um modo de desgaste adicional, conhecido como micro-fratura, que ocorre quando as forças aplicadas pela partícula excedem a resistência à fratura das superfícies de contato (WHITTAKER, 2003).

No contato de cerâmicas, as partículas de desgaste são geradas mecanicamente sem o mecanismo de desgaste por fadiga, mesmo em contato elástico. O desgaste é governado pela fratura frágil microscópica de microfissuras na superfície em contato elástico nominal. Este é o mecanismo de desgaste representativo da cerâmica quando a taxa de desgaste específica é superior a $10^{-6} \text{ mm}^3 / (\text{Nm})$ (KATO e ADACHI, 2000).

Abrasão e erosão por fratura frágil devem ser considerados como possíveis mecanismos de desgaste que causam danos aos revestimentos de rotor cerâmico pulverizado por plasma.

2.2.3.7 Fabricação de rotores

O rotor, como componente extremamente importante numa BCP, necessita de estabilidade e qualidade de seu processo de fabricação. A geometria especial deste componente, aliada a rigoroso controle dimensional e bom acabamento superficial que lhe são impostos, diante de sua influência direta no desempenho da bomba, torna poucos processos de fabricação capazes de reproduzi-lo em seus materiais tradicionais, como o aço.

O processo de usinagem predomina na fabricação destes produtos acabados, por atender os requisitos descritos, mas não de forma convencional. Para viabilizar a concepção da geometria helicoidal é necessário adicionar um processo com uma ferramenta rotativa, chamado de “turbilhamento”, sincronizado com a movimentação dos demais eixos do torno, limitando a operação aos equipamentos de usinagem com comando numérico.

2.2.4 Eficiência da BCP

O desempenho de uma BCP é uma função do deslocamento volumétrico da bomba e do escorregamento interno de fluido. É chamado de escorregamento o fato do fluxo se deslocar para trás entre cavidades consecutivas devido ao gradiente de pressão adverso ao longo da bomba. Entretanto, é esse fenômeno que permite que a bomba aumente a pressão ao longo das cavidades, ou seja, é uma característica de funcionamento deste equipamento (MARTIN apud CHEN, 2013, p. 12).

Para qualquer tipo de estator, rígido ou deformável, o escorregamento é função das características do fluido, do diferencial de pressão, das dimensões dos demais componentes e da cinemática do rotor. O cálculo deste fluxo de fluido é complexo, limitando a aplicação de modelos matemáticos simples apenas para estimativas, como o do próprio inventor, Moineau (1930), baseado no escoamento de Hagen-Poiseuille (AZEVEDO, 2012).

No caso específico dos estatores elastoméricos, o problema torna-se ainda mais complexo, porque a geometria do canal de fluxo torna-se uma função do campo de pressão. Quanto maior o diferencial de pressão experimentado pela BCP, maior será a deformação no canal do estator, diminuindo a interferência com o rotor e aumentando o escorregamento. (ANDRADE; VALÉRIO; CARVALHO, 2010).

A Figura 2.16 ilustra os dois mecanismos de escorregamento possíveis na bomba: longitudinal e transversal.

Figura 2.16 – Representação dos mecanismos de escorregamento de uma BCP



Fonte: Adaptado de Paladino et al. (2008).

A vazão nominal da BCP (\dot{V}_n) é obtida multiplicando-se o volume teórico deslocado pela velocidade angular do eixo motor. Subtraindo o escorregamento (\dot{V}_s), é obtida a vazão real (\dot{V}_r), apresentada na Equação 2.4.

$$\dot{V}_r = \dot{V}_n - \dot{V}_s \quad (2.4)$$

Fazendo o quociente da vazão real com a nominal, obtêm-se a eficiência volumétrica da BCP, conforme a Equação 2.5, a seguir (CHAPARRO FONSECA, 2008).

$$\eta_{vol} = \frac{\dot{V}_r}{\dot{V}_n} = \frac{\dot{V}_n - \dot{V}_s}{\dot{V}_n} \quad (2.5)$$

A eficiência global η_s de uma bomba pode ser avaliada através da potência teórica – que quantifica a variação de trabalho de fluido, dividida pela potência real consumida – mensurada pelo produto do torque e velocidade angular do eixo motor ou da tensão e corrente elétrica fornecida ao motor. Essa eficiência apresenta o desempenho global do conjunto, conforme a Equação 2.6 (PESSOA, 2009).

$$\eta_s = \frac{\dot{W}_{teórico}}{\dot{W}_{real}} = \frac{\Delta P \cdot \dot{V}_r}{T \cdot \omega} = \frac{\Delta P \cdot \dot{V}_r}{U \cdot I} \quad (2.6)$$

Onde, U é a tensão elétrica, I a corrente elétrica, T o torque do motor e ω a velocidade angular.

Uma vez que a eficiência global envolve o produto das eficiências, para a BCP, outro parâmetro importante como a eficiência volumétrica, é a mecânica. Então, pode-se considerar que a global é resultante do produto destas, conforme a Equação 2.7.

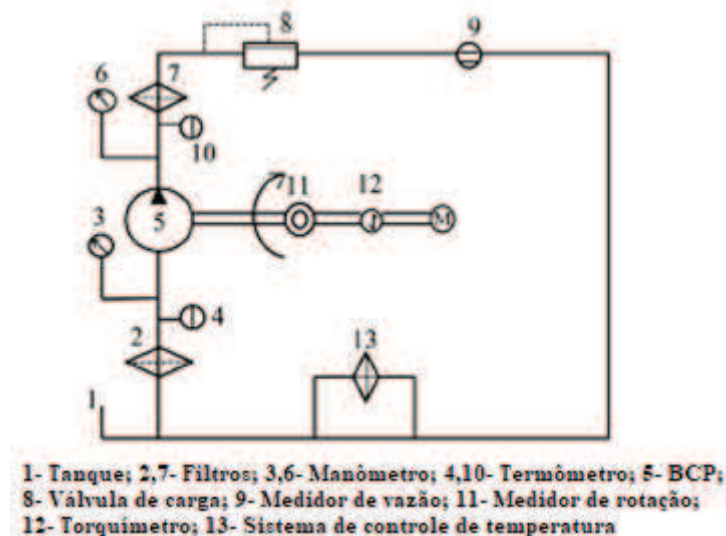
$$\eta_s = \eta_{vol} \cdot \eta_{mec} \quad (2.7)$$

2.2.5 Equipamentos para avaliação de BCPs

O desenvolvimento de equipamentos para teste de bombas de cavidades progressivas dá condições para avaliação de parâmetros de desempenho: consumo de energia elétrica, construção de curvas características, eficiência energética, entre outros.

Chen et al. (2013) propuseram em seu estudo um equipamento experimental para avaliar a eficiência volumétrica de BCPs, cujo diagrama da bancada de testes é apresentado pela Figura 2.17. O mesmo apresenta tanque, filtros, manômetro na entrada e saída da bomba, válvula de carga, medidor de vazão, medidor de rotação, torquímetro e termômetros no tanque, entrada da bomba e saída da bomba.

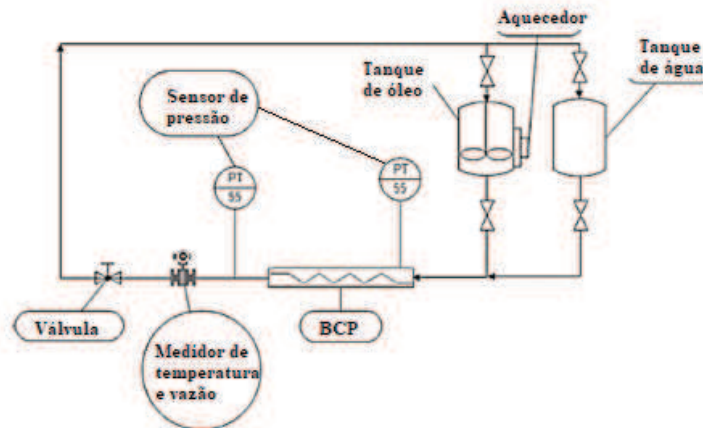
Figura 2.17 – Diagrama da bancada de testes experimentais de Chen et al. (2013)



Fonte: Adaptado de Chen et al. (2013).

Nguyen et al. (2016) também utilizaram em seu estudo experimental um equipamento com tomadas de pressão na entrada e saída da BCP e termômetro na saída, ou seja, na linha de pressão. Contudo, o mesmo possui dois reservatórios, um com água e outro com óleo de viscosidade sensível à temperatura, para possibilitar avaliar a influência da viscosidade no desempenho da BCP. O diagrama do equipamento é ilustrado pela Figura 2.18.

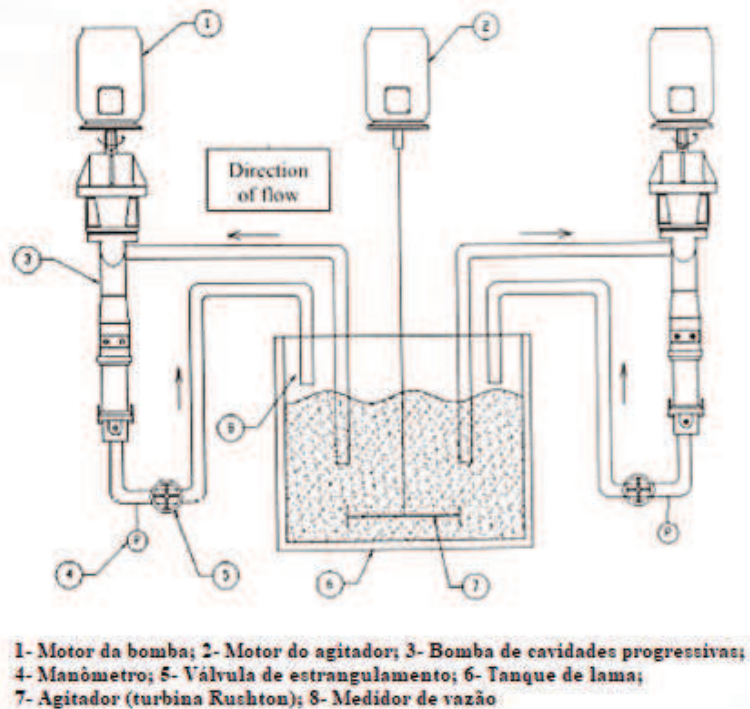
Figura 2.18 – Diagrama da bancada de testes experimentais de Nguyen et al. (2016)



Fonte: Adaptado de Nguyen et al. (2016).

Whittaker (2003) construiu um equipamento dedicado a avaliação de desgaste do par estator-rotor, apresentado na Figura 3.15. O reservatório continha um agitador de hélice para dispersão das partículas sólidas no fluido, podendo aumentar ou diminuir a concentração destas em cada condição de teste. Possui manômetro na saída da bomba, após a válvula de estrangulamento. Entretanto, não se preocupava com a temperatura do fluido de trabalho, dispensando o uso de termômetro, e, media a vazão através do tempo de operação.

Figura 2.19 – Bancada de testes experimentais de Whittaker (2013)



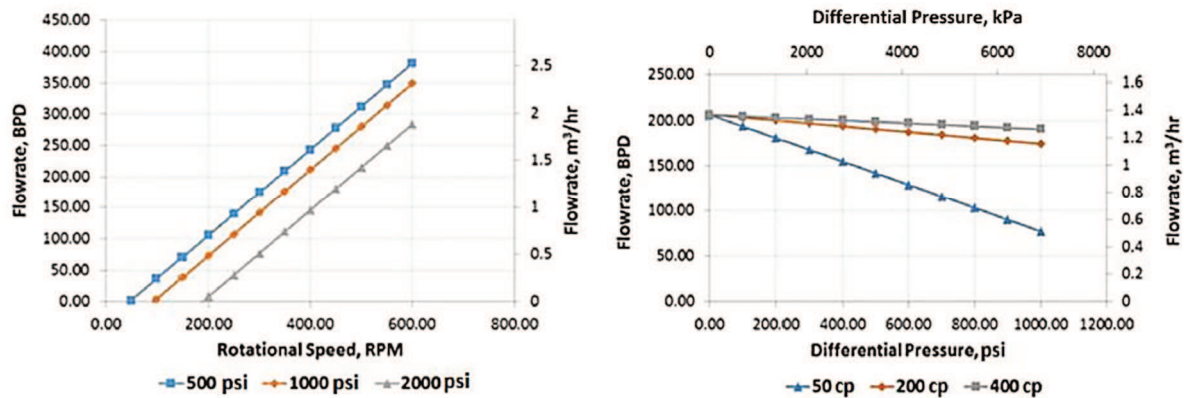
- 1- Motor da bomba; 2- Motor do agitador; 3- Bomba de cavidades progressivas;
4- Manômetro; 5- Válvula de estrangulamento; 6- Tanque de lama;
7- Agitador (turbina Rushton); 8- Medidor de vazão

Fonte: Adaptado de Whittaker (2003).

2.2.6 Curvas de desempenho

Nguyen et al. (2016) avaliou em sua bancada experimental a influência de diversos parâmetros na vazão da BCP, como: velocidade angular do motor, viscosidade do fluido, diferencial de pressão, entre outros. A Figura 2.20 ilustra alguns de seus resultados.

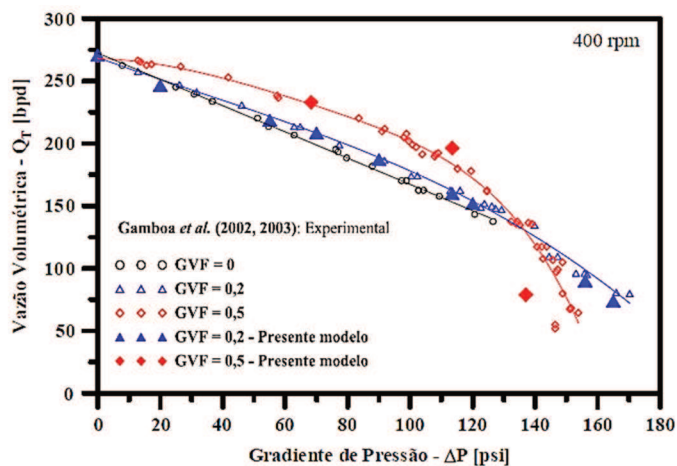
Figura 2.20 – Influência de parâmetros na vazão da BCP do estudo de Nguyen et al. (2016)



As curvas encontradas por Nguyen et al. (2016) mostram a redução da vazão ao longo do aumento do diferencial de pressão. Interessante verificar que a diminuição da vazão é menor para fluidos mais viscosos.

Azevedo (2012) avaliou através de modelo numérico a influência da fração volumétrica de gases presentes no fluido na curva característica da BCP e comparou-a com resultados experimentais encontrados por Gamboa et al. (2003). Os mesmos são exibidos na Figura 2.21.

Figura 2.21 – Curva característica do estudo de Azevedo (2012) para fluidos com diferentes concentrações de gases

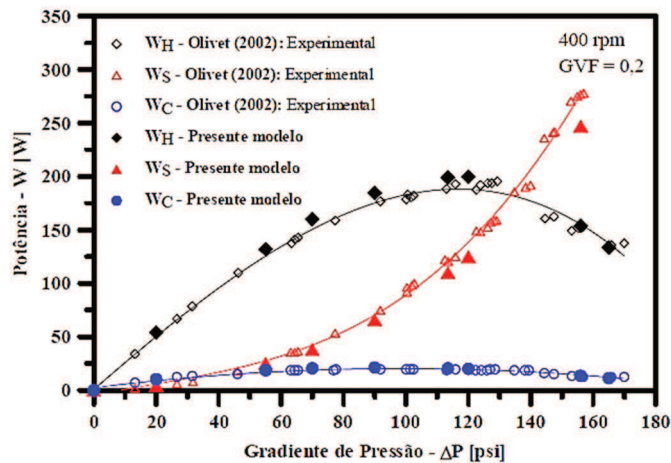


Fonte: AZEVEDO (2012).

Os trabalhos de Azevedo (2012) e Gamboa et al. (2003) exibem a relação inversamente proporcional entre vazão e pressão nas bombas de cavidades progressivas com diferentes parâmetros de entrada, neste caso, operando com fluido bifásico.

Azevedo (2012) também avaliou a potência elétrica de uma determinada BCP e comparou-a com resultados experimentais obtidos por Olivet (2002), conforme Figura 2.22. Os autores apresentaram os resultados separadamente pela potência hidráulica (W_H), potência de compressão da fase gasosa (W_C) e perdas de potência por escorregamento (W_S), que somadas, formam a potência total.

Figura 2.22 – Potência em relação à pressão no estudo de Azevedo (2012)

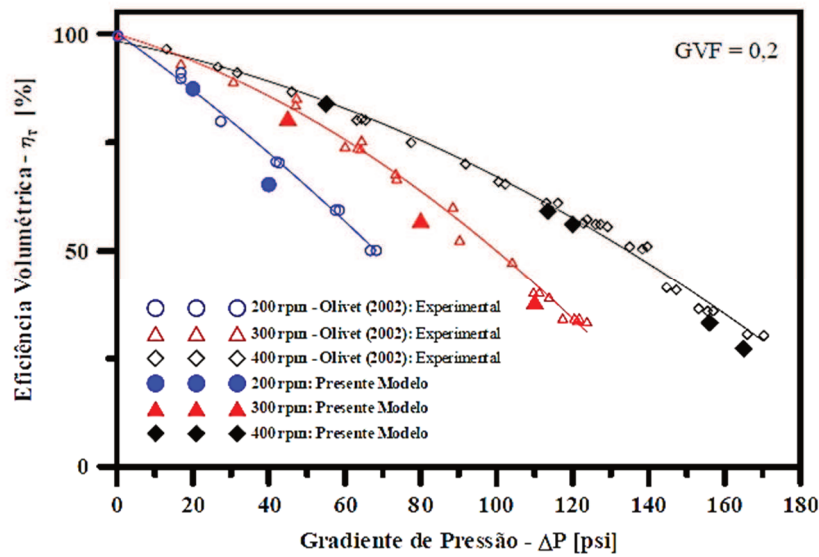


Fonte: AZEVEDO (2012).

Azevedo (2012) ainda apresentou a curva de eficiência volumétrica de seu modelo numérico, comparando-a com resultados experimentais de Gamboa et al. (2003), de um fluido com presença de 20% de gás, para três velocidades angulares diferentes na BCP, ao longo do gradiente, ou diferencial, de pressão, conforme Figura 2.23.

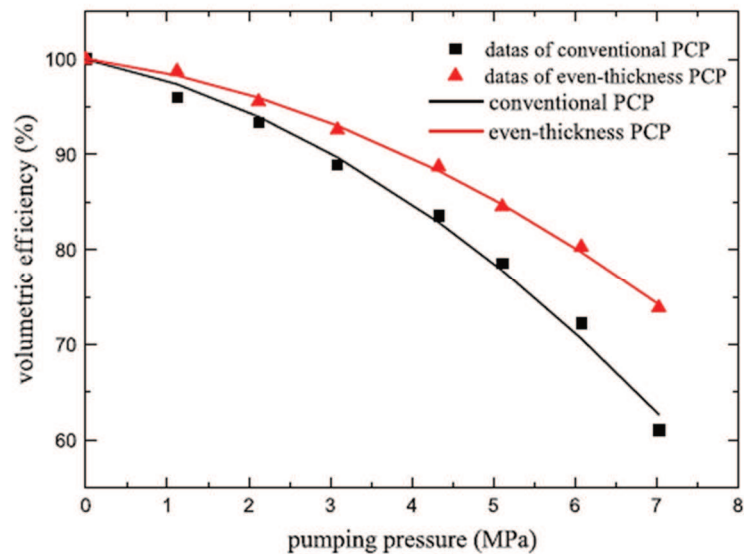
Chen et al. (2013) avaliaram a eficiência volumétrica em relação à pressão para duas formas construtivas distintas de estatores: tradicionais e de espessura constante. Os tradicionais possuem espessura variável pois suas cavidades são formadas por um oblongo desenvolvido helicoidalmente e sua superfície externa é, geralmente, cilíndrica. Os estatores de espessura constante apresentam como superfície externa um offset das cavidades, ou seja, também oblonga helicoidal. Chen et al. (2013) mostrou que estes registram melhor desempenho comparados aos tradicionais, conforme Figura 2.24.

Figura 2.23 – Eficiência volumétrica em relação ao gradiente de pressão do estudo de Azevedo (2012)



Fonte: AZEVEDO (2012).

Figura 2.24 – Eficiência volumétrica em relação ao gradiente de pressão do estudo de Chen et al. (2013)



Fonte: Chen et al. (2013)

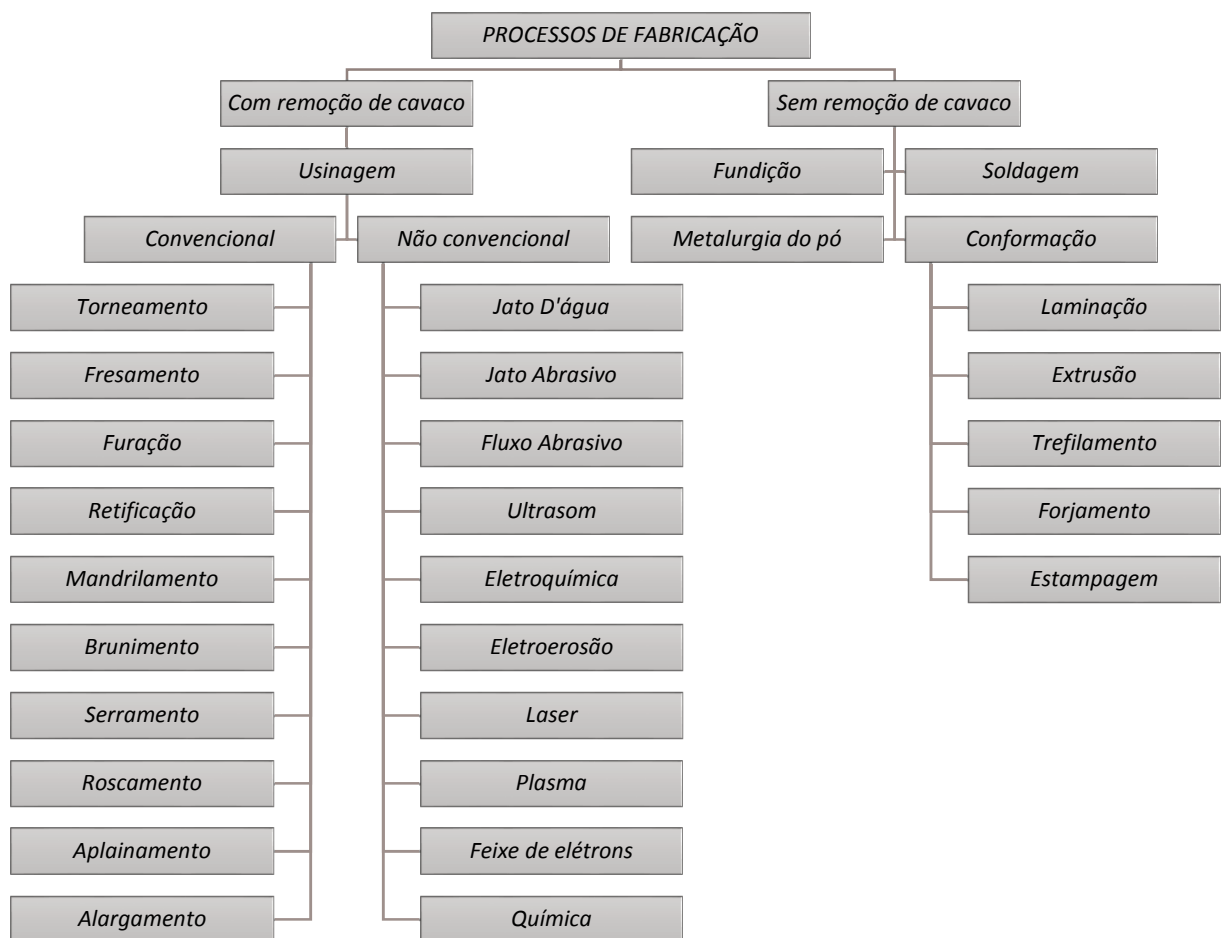
2.3 PROCESSO DE FABRICAÇÃO POR USINAGEM

Processos de usinagem envolvem operações de corte para obtenção de uma peça a partir da remoção de excesso de material bruto, por exemplo, uma barra ou bloco fundido. O excesso removido forma aparas, chamadas de cavaco.

A usinagem pode ser definida como “processo de remoção de material que ao conferir à peça a forma, as dimensões, o acabamento, ou ainda a combinação qualquer destes itens, produz cavaco”. Por cavaco, entende-se “porção de material da peça de forma geométrica irregular retirada pela ferramenta de corte” (SOUZA, 2011).

A Figura 2.25 apresenta os diferentes processos de fabricação e todas as variações possíveis do processo de usinagem.

Figura 2.25 – Classificação de processos de fabricação



Fonte: Adaptado de Souza (2011).

As operações de usinagem, em sua grande maioria, utilizam lubrificante-refrigerante, também conhecido como fluido de corte, que tem como finalidades: aumentar a vida da ferramenta, reduzir a potência de corte, melhorar acabamento da superfície usinada, aumentar eficiência na remoção do cavaco, reduzir distorção da peça, proteger a máquina-ferramenta da oxidação, entre outros.

A utilização de fluidos de corte no processo de usinagem faz da indústria metalmeccânica uma potencial agressora do meio ambiente. São vários os problemas decorrentes desta utilização, que vão desde a geração de efeitos nocivos ao ambiente de trabalho até a impactos ambientais negativos (OLIVEIRA e ALVES, 2007).

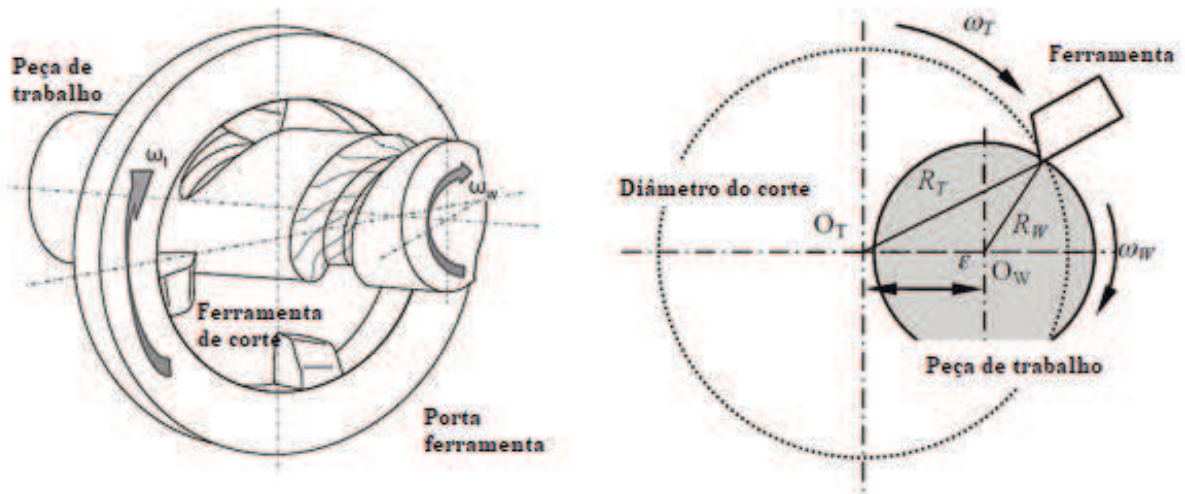
2.3.1 Usinagem por turbilhonamento

O processo de usinagem por turbilhonamento foi desenvolvido na Alemanha pela *Bergsmuller Company*. Consiste de um porta-ferramentas giratório, com insertos cortantes, que engloba e remove o material da peça de trabalho, presa no cabeçote, que se desloca, a uma certa taxa, ao longo do eixo longitudinal para produzir uma forma helicoidal (MOHAN e SHUNMUGAM, 2007; SONG e ZUO, 2013). A Figura 2.26 ilustra esquematicamente um turbilhonador e seus parâmetros cinemáticos e a Figura 2.27 um turbilhonador comercializado pela empresa *NTK Cutting Tools*.

O porta-ferramentas avança ao longo da direção axial, numa determinada excentricidade, de forma sincronizada a peça de trabalho, que gira em torno de um ciclo. As condições de corte são semelhantes às de fresamento concordante, pois a ferramenta e a peça têm o mesmo sentido de rotação, com velocidades angulares de, aproximadamente, 1000 a 3000 rpm e, 3 a 30 rpm, respectivamente. Nestas condições, a espessura do cavaco primeiro aumenta e diminui subsequentemente, ajudando a melhorar a qualidade da superfície (MOHAN e SHUNMUGAM, 2007; O VERDADEIRO, 2013; SONG e ZUO, 2014).

A ação de corte suave e tangencial do turbilhonador minimiza as forças de corte e permite uma alta taxa de remoção de metal. Em comparação com outros métodos, é eficiente para produzir peças com geometria em espiral, particularmente em materiais de difícil usinagem. Em tornos de peças de pequeno diâmetro, os acabamentos da superfície são deteriorados em baixas velocidades de corte devido à limitação da velocidade do fuso. Enquanto isso, no turbilhonamento, a velocidade de corte é controlada pela velocidade e raio dos insertos no porta-ferramentas. Portanto, superfícies finas são acabadas em altas velocidades de corte, embora os diâmetros das peças sejam pequenos, justificando o elevado grau de acabamento da superfície (MOHAN e SHUNMUGAM, 2007; SERIZAWA e MATSUMURA, 2016).

Figura 2.26 – Ilustração do processo de usinagem por turbilhamento



Fonte: Adaptado de Zanger et al. (2017) e Serizawa e Matsumura (2016).

Figura 2.27 – Exemplo de turbilhador comercializado pela NTK Cutting Tools



Fonte: O VERDADEIRO (2013).

2.3.2 Energia específica de corte e eficiência de usinagem

No processo de usinagem, a energia total por unidade de tempo ou mesmo potência de corte pode ser determinada multiplicando-se diretamente a força de corte (F_c) pela velocidade de corte (v_c). Entretanto, como muitos parâmetros influem diretamente no valor da energia consumida, ela é normalizada pela taxa de material removido (TRM) da peça, ou seja produto da espessura de corte (h), pela largura de corte (b) e velocidade de corte (v_c), conforme Equação 2.8, resultando, após simplificação, na Equação 2.9.

$$u = \frac{F_c v_c}{h b v_c} \quad (2.8)$$

$$u = \frac{F_c}{h b} \quad (2.9)$$

A energia específica de corte (u) pode ser entendida também como a razão entre potência específica de corte e a taxa de remoção de material, o equivalente à energia por unidade de volume. Portanto, é uma variável que representa a eficiência energética do processo e está sujeita à influência das condições de usinagem, do material da peça e da ferramenta de corte (RIGATTI, 2010; SOUZA, 2011).

2.4 FERRAMENTAS DE GESTÃO AMBIENTAL

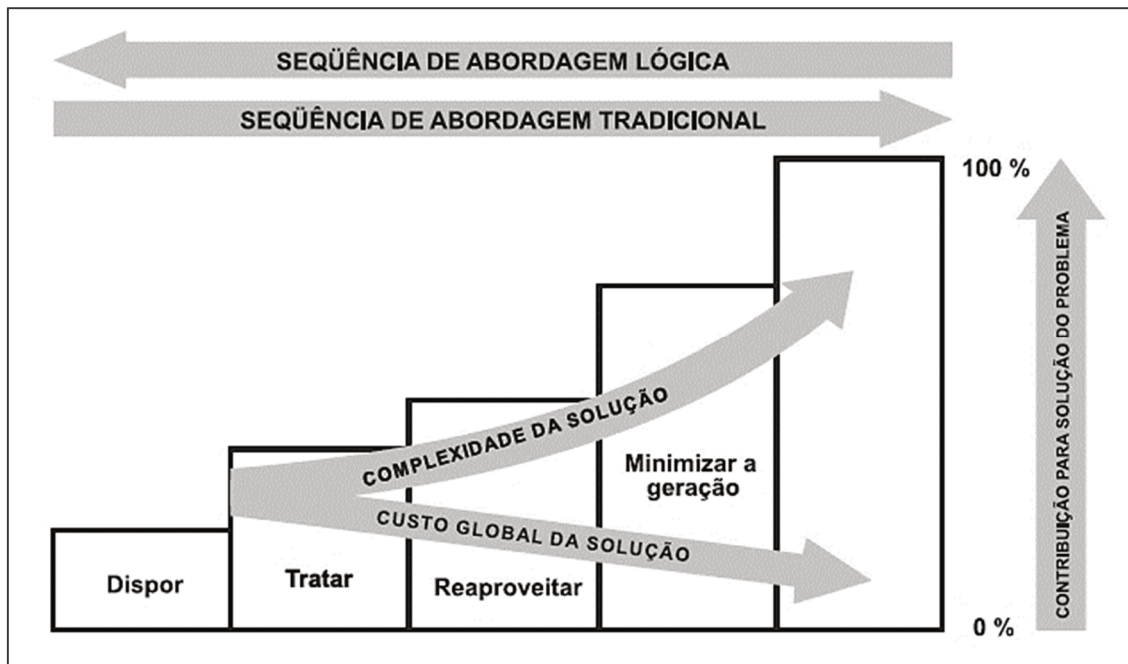
Muitos dos processos industriais foram omissos quanto a sua responsabilidade pela preservação do meio ambiente durante muitos anos. O surgimento da legislação ambiental, seguida de fortes infrações aplicadas pelos órgãos responsáveis pelo seu descumprimento, alavancaram a busca por melhorias das atividades industriais. Neste cenário, foram criadas as primeiras metodologias para tratamento de resíduos gerados, chamadas de “fim-de-tubo”.

Por conseguinte, os esforços industriais para reduzir os impactos ambientais de seus produtos e processos estavam focados em duas áreas: desenvolvimento de um processo de reciclagem, especialmente para metais e plásticos, e substituições de produtos químicos nos processos de manufatura, tornando-os processos denominados “processos limpos” (OLIVEIRA e ALVES, 2007).

Reciclar resíduos gerados nos processos produtivos parece razoável do ponto de vista econômico, ao passo que, é ainda mais econômico evitar a geração destes. Prevenir a poluição leva, conseqüentemente, a melhoria contínua nos processos, deixando de lado o desgaste de ter de operar e administrar resíduos gerados.

Neste contexto, as metodologias voltadas ao contexto ecológico experimentam constante evolução de sua forma de abordagem. Esta mudança é ilustrada pela Figura 2.28.

Figura 2.28 – Evolução da abordagem ambiental



Fonte: MEDEIROS et al. (2007).

Metodologias como Produção Mais Limpa (P+L) e Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) surgiram desta evolução do modo de pensar no contexto dos impactos ambientais.

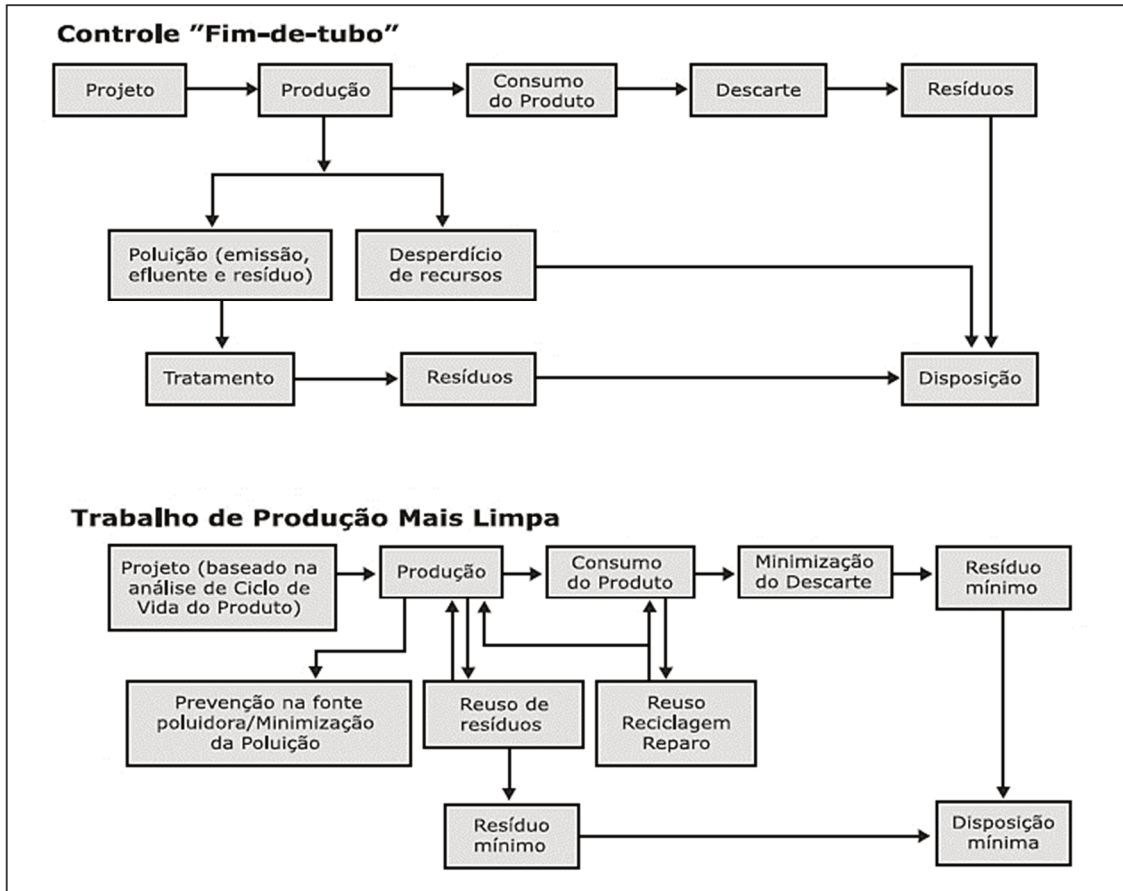
2.4.1 Programa de Produção Mais Limpa (P+L)

O programa de Produção Mais Limpa (P+L) apresenta uma análise detalhada do processo produtivo através da quantificação dos insumos de entrada e saída, energia empregada e impacto ao meio ambiente, enquanto os métodos convencionais, chamados de fim-de-tubo, focam apenas no tratamento dos resíduos finais. A técnica P+L consiste em evitar ou minimizar todo e qualquer desperdício. A Figura 2.29 ilustra os fluxogramas destes métodos.

Segundo a UNIDO/UNEP, Produção Mais Limpa (P+L) é a aplicação continuada de uma estratégia ambiental preventiva e integrada aos processos, produtos e serviços, a fim de aumentar a eficiência e reduzir os riscos para o homem e para meio ambiente. Aplica-se a processos produtivos, a produtos e a serviços (MELLO e NASCIMENTO, 2002).

O conceito apresentado é ilustrado pela Figura 2.30, evidenciando a abordagem preventiva da metodologia.

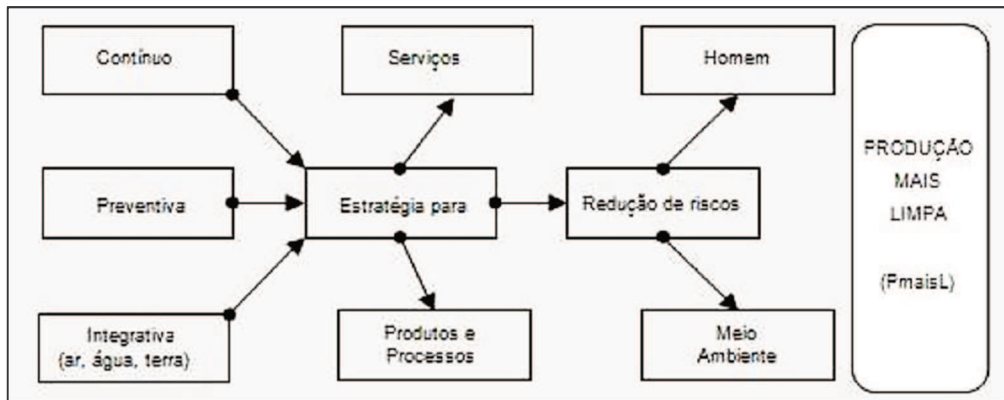
Figura 2.29 – Fluxograma da abordagem convencional “fim-de-tubo” e a P+L



Fonte: MEDEIROS et al. (2007).

O objetivo da P+L é atender de maneira sustentável as nossas necessidades, usando com eficiência os recursos e energias renováveis, conservando a biodiversidade, utilizar a menor quantidade de matéria-prima e gerar a menor quantidade de resíduos nos processos produtivos (ARAÚJO, 2002).

Figura 2.30 – Elementos essenciais da estratégia de P+L

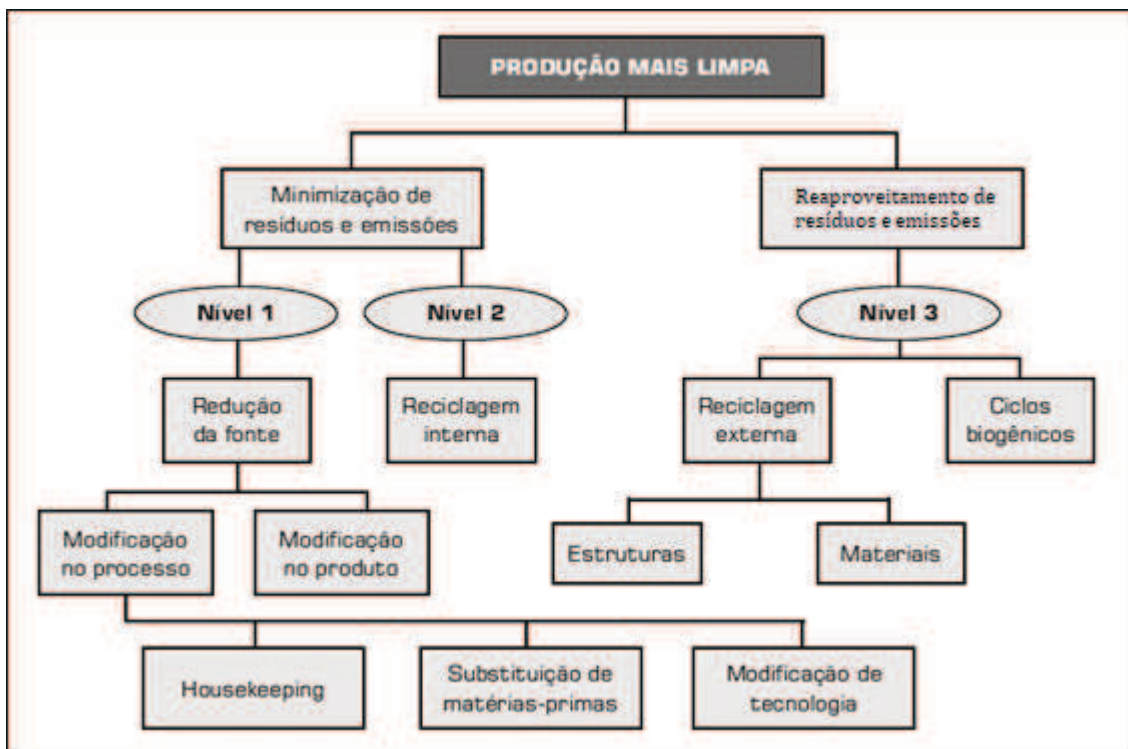


Fonte: Adaptado de Werner; Bacarji; Hall (2009).

De modo geral, os princípios da Produção Limpa questionam a necessidade real do produto ou procuram outras formas pelas quais essa necessidade poderia ser satisfeita ou reduzida (WERNER; BACARJI; HALL, 2009).

A estrutura de aplicação da P+L é dividida em três níveis. Os dois primeiros enquadram-se na minimização de resíduos e emissões e, o terceiro, no seu reaproveitamento ou reciclagem externa. A Figura 2.31 ilustra o fluxograma dos elementos essenciais de P+L e a divisão dos respectivos níveis.

Figura 2.31 – Níveis da estratégia de P+L



Fonte: Adaptado de Oliveira e Alves (2007).

O nível 1 trata de redução dos resíduos e as melhorias se consistem a partir de mudanças de produto ou no processo de produção. Para o produto procuram-se alternativas de diferentes composições que impactam diretamente na qualidade e durabilidade. Já no processo produtivo procuram-se simplificar as operações de modo a reduzir a geração de resíduos. Para isso, podem ser utilizadas boas práticas de fabricação, chamado de *housekeeping*, substituição da matéria-prima e modificação da tecnologia de fabricação, por exemplo, mudar de um processo usinagem para o processo de injeção sob pressão para uma peça metálica ou polimérica.

O nível 2 aborda a reciclagem interna, reintegrando os resíduos do processo produtivo, por exemplo para componentes de mesma matéria-prima com propósito igual ou inferior ao original.

Na impossibilidade de reintegração dos resíduos, procura-se um meio de reciclagem externa, buscando destino e recursos fora da empresa para o tratamento dos mesmos, abordado no nível 3.

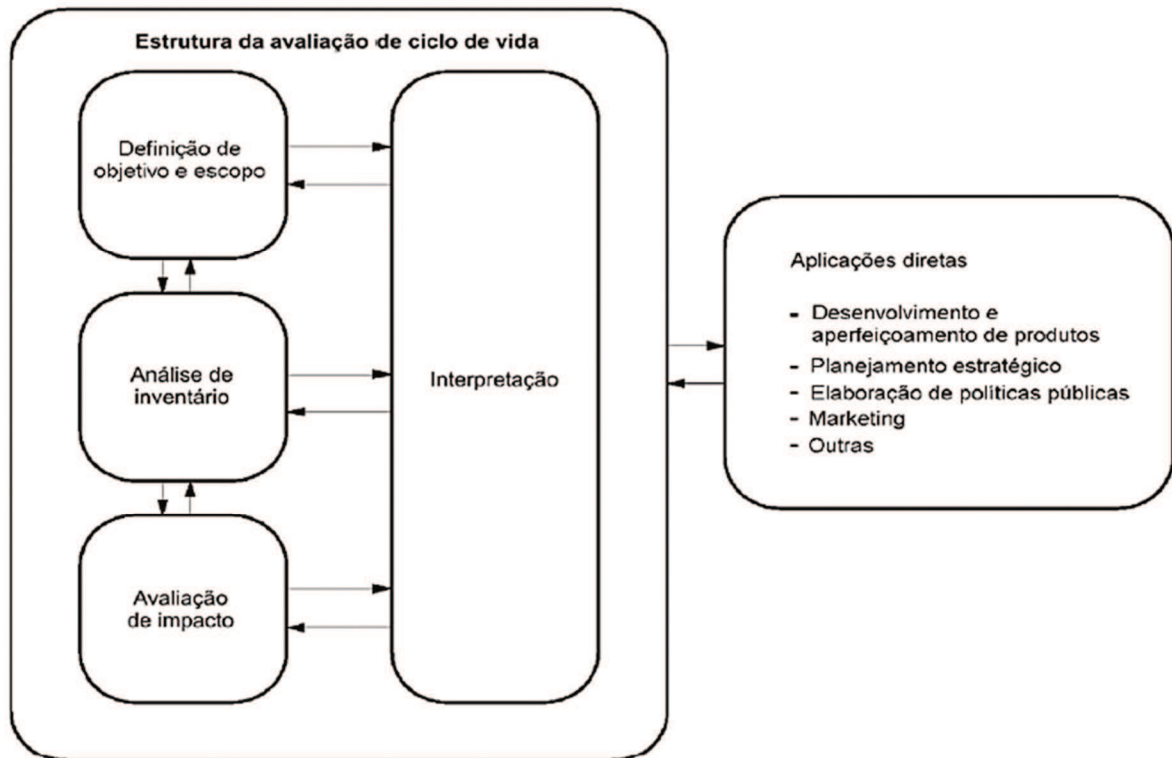
2.4.2 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

A avaliação do ciclo de vida (ACV) fornece um método para avaliar todos os impactos ambientais associados a um serviço ou causados ao longo do ciclo de vida de um produto, incluindo extração de matérias-primas, aquisição de energia, produção de materiais, fabricação, uso, reciclagem, disposição final, entre outros. Desta forma é possível realizar o controle dos mesmos e implementar melhorias em processos produtivos. Através da ACV, todas as cargas ambientais possíveis do processo são classificadas de acordo com sua contribuição para vários impactos ambientais, incluindo, por exemplo, o potencial de esgotamento do ozônio, o potencial de aquecimento global e a toxicidade humana (REBITZER et al., 2004; TONGPOOL et al., 2010; OLMEZ et al., 2016; MENDES; BUENO; OMETTO, 2016).

A estrutura da ACV é dividida em quatro fases, apresentadas na Figura 2.32: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos ambientais e interpretação. A metodologia é delimitada através das normas ISO 14040 (1997), ISO 14041 (1998), ISO 14042 (2000), ISO 14043 (2000).

A metodologia da ACV considera todos os aspectos do ecossistema, saúde humana e recursos. Portanto, é útil para evitar a transferência de problemas, por exemplo, de uma fase do ciclo de vida para outra. Além da avaliação do impacto ambiental, a ACV pode ser utilizada para a tomada de decisões sobre o desenvolvimento de novos produtos, análise de energia, gerenciamento de fornecedores, planejamento de recursos críticos e declarações de benefícios do produto (TONGPOOL et al., 2010).

Figura 2.32 – Estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida



Fonte: MENDES; BUENO; OMETTO (2016).

2.4.2.1 Fase 1 – Definição de objetivo e escopo

A definição do objetivo e do escopo da ACV fornece uma descrição do sistema do produto em termos dos limites do sistema e de uma unidade funcional. A unidade funcional é a base importante que permite que bens ou serviços alternativos sejam comparados e analisados. A unidade funcional geralmente não é apenas uma quantidade de material. Os profissionais podem comparar tipos alternativos de materiais com base em uma unidade fixa e avaliar o rendimento que o produto oferece (REBITZER et al., 2004).

2.4.2.2 Fase 2 – Análise de inventário

A avaliação de impacto ambiental de qualquer sistema precisa de um fluxograma de trocas ambientais (emissões, consumos de recursos, etc.), chamado de inventário de ciclo de vida (ICV). O ICV é usado para avaliar impactos em suas respectivas categorias, como por exemplo: potencial de aquecimento global, eutrofização, acidificação, ecotoxicidade, esgotamento de recursos e danos à saúde humana. Cada entrada e saída, exceto produtos, é chamada de carga, pode ser enquadrada em uma ou mais categorias de impacto. Depois de

classificada, cada carga é multiplicada pelo seu fator de caracterização, resultando em impacto ambiental por unidade de carga, ou seja, em sua unidade funcional. Somadas as multiplicações, é obtido o impacto do sistema na categoria em questão (REBITZER et al., 2004; TONGPOOL et al., 2010).

2.4.2.3 Fase 3 – Avaliação de impactos ambientais

O processo de classificação, caracterização e ponderação é chamado de avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV). Esta fase fornece indicadores e a base para analisar as contribuições potenciais das extrações de recursos, resíduos ou emissões em um inventário para um número de impactos potenciais.

O resultado da AICV é uma avaliação do ciclo de vida de um produto, em uma base funcional unitária, em termos de várias categorias de impactos e, em alguns casos, em uma forma agregada, como por exemplo, anos de vida humana perdidos devido a mudanças climáticas, efeitos carcinogênicos, entre outros (REBITZER et al., 2004).

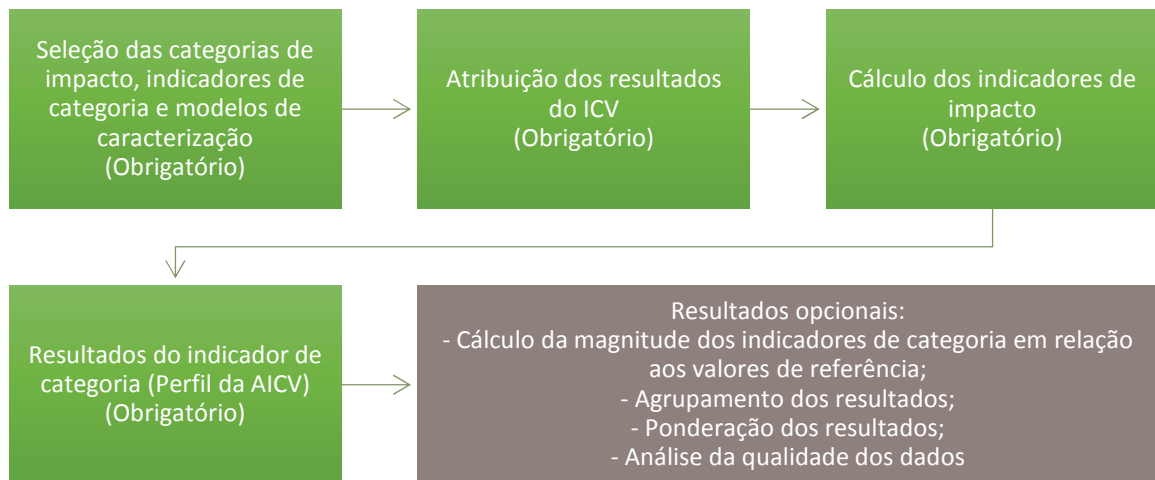
A AICV consiste em elementos obrigatórios e opcionais, conforme ilustrado na Figura 2.33 e detalhado a seguir (REBITZER et al., 2004):

- a. Seleção das categorias de impacto de interesse, os indicadores para cada categoria de impacto e os modelos subjacentes;
- b. Atribuição dos dados do inventário às categorias de impacto escolhidas (classificação).
- c. Cálculo de indicadores de categoria de impacto usando fatores de caracterização;
- d. Cálculo dos resultados do indicador de categoria em relação aos valores de referência (s) (normalização, opcional);
- e. Agrupamento e ponderação dos resultados (opcional);
- f. Análise de qualidade de dados, obrigatória nas assertivas comparativas divulgadas ao público, conforme ISO 14042 (2000).

Existem diversos softwares que realizam a avaliação de impacto para auxiliar na classificação, caracterização e ponderação. Alguns exemplos são: Eco-indicator 99, CML, EDIP, TRACI e IPCC 2007 GWP 100a (REBITZER et al., 2004).

Esta ferramenta será utilizada no presente trabalho, porém será realizado um AICV qualitativo.

Figura 2.33 – Elementos de uma AICV conforme ISO 14042 (2000)



2.4.2.4 Fase 4 – Interpretação

Conforme apresentado na estrutura metodológica da ACV, a interpretação é uma das quatro fases. No entanto, não possui um momento específico para execução, devendo ser realizada em paralelo às demais fases, ou seja, fazendo-se a interpretação de dados de cada uma.

2.4.2.5 CES EduPack

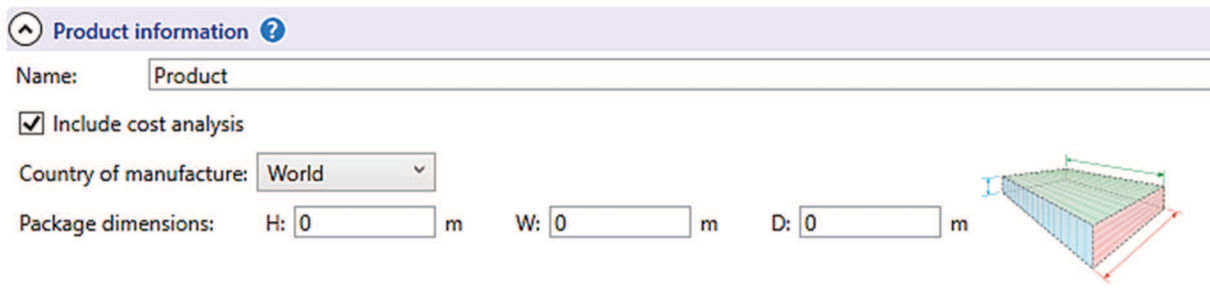
O software educacional CES EduPack possibilita realização da avaliação de ciclo de vida para seleção de materiais em projetos através da ferramenta Eco-Audit. Foi desenvolvido pela Universidade de Cambridge e pela Granta Design, possui uma rica biblioteca de materiais que proporcionam quantificação do impacto ambiental de um produto em seis partes: material, manufatura, transporte, uso, descarte e potencial de fim de vida, em termos de eficiência energética, pegada de água ou CO_2 (PIRES, 2018; GRADIN e ÅSTRÖM, 2018).

Em um novo projeto no software, os dados devem ser inseridos nas diferentes etapas:

- Inicia-se escolhendo o local de manufatura, de três formas possíveis: país, continente ou mundialmente. E, para incluir análise de custo, necessita-se inserir as dimensões da embalagem do componente ou equipamento estudado para o local escolhido. A Figura 2.34 exibe estes campos de preenchimento no software;
- Para o material, manufatura e fim de vida, a Figura 2.35 apresenta os campos. Deve ser preenchida a quantidade de componentes do estudo, seu nome, percentual de reciclagem na matéria-prima, massa da matéria-prima bruta, processos de manufatura primário e secundário (caso exista), percentual de material removido nos processos, tipo de fim de

- vida e percentual de reciclagem (quando possível). Ainda nesta etapa é selecionado a técnica conexas, como soldagem, por exemplo, quando utilizada, ou processos de acabamento, como revestimento de superfície, e sua respectiva área coberta;
- Quando há transporte do componente, na maioria dos casos quando é um produto pronto para ser comercializado externamente, deve-se preencher o tipo de veículo que o realiza e a distância percorrida. Os campos também são exibidos pela Figura 2.35;
 - A Figura 2.36 exibe os campos de preenchimento relativos ao uso do componente. Deve-se preencher o tempo de vida do produto, em anos, selecionar a matriz energética de um país, continente ou mundialmente, e o tipo de utilização, entre doméstica ou comercial. Logo após, aponta-se se o componente é utilizado em um equipamento estático ou como parte de um equipamento móvel, como um veículo, por exemplo. Quando escolhido estático, necessita-se escolher o tipo de conversão de energia, alimentar os dados de potência, uso em dias por ano e horas por dia. Já para o caso dinâmico, o tipo de veículo ou equipamento móvel, o uso em dias por ano, e a distância percorrida por dia.
 - Por fim, pode-se estudar diversos materiais, criando-os individualmente conforme descrito acima e comparando-os.

Figura 2.34 – Informação do produto na ferramenta Eco-Audit do software CES EduPack



Product information ?

Name:

Include cost analysis

Country of manufacture:

Package dimensions: H: m W: m D: m

Figura 2.35 – Informação do material, manufatura e fim de vida e transporte do produto na ferramenta Eco-Audit do software CES EduPack

Material, manufacture and end of life ?

Components

Qty.	Component name	Material	Recycled content	Mass (kg)	Primary process	Length (m)	Secondary process	% removed	End of life	% recovered
1				0		Not Required		0	None	100

Joining and finishing

Name	Process	Amount	Unit

Transport ?

Name	Transport type	Distance (km)

Figura 2.36 – Informação do uso na ferramenta Eco-Audit do software CES EduPack

Use ?

Product life: 1 Years

Country of use: World Energy rate: Commercial

Static mode Product uses the following energy:

Energy input and output: Electric to mechanical (electric moto

Power rating: 0 W

Usage: 0 days per year

Usage: 0 hours per day

Mobile mode Product is part of or carried in a vehicle:

Fuel and mobility type: Diesel - ocean shipping

Usage: 0 days per year

Distance: 0 km per day

2.4.2.6 Aplicações da ACV

Tongpool et al. (2010) estudaram os impactos ambientais de aços laminados a quente, laminados a frio, galvanizados por imersão a quente e eletro galvanizados, através da avaliação do ciclo de vida. Mostraram que a emissão das usinas de produção de aço causa impactos relativamente baixos. Em contrapartida, a utilização do zinco para galvanização e seu processo de produção, em termos de emissão de metais pesados, é um potencial agressor ambiental.

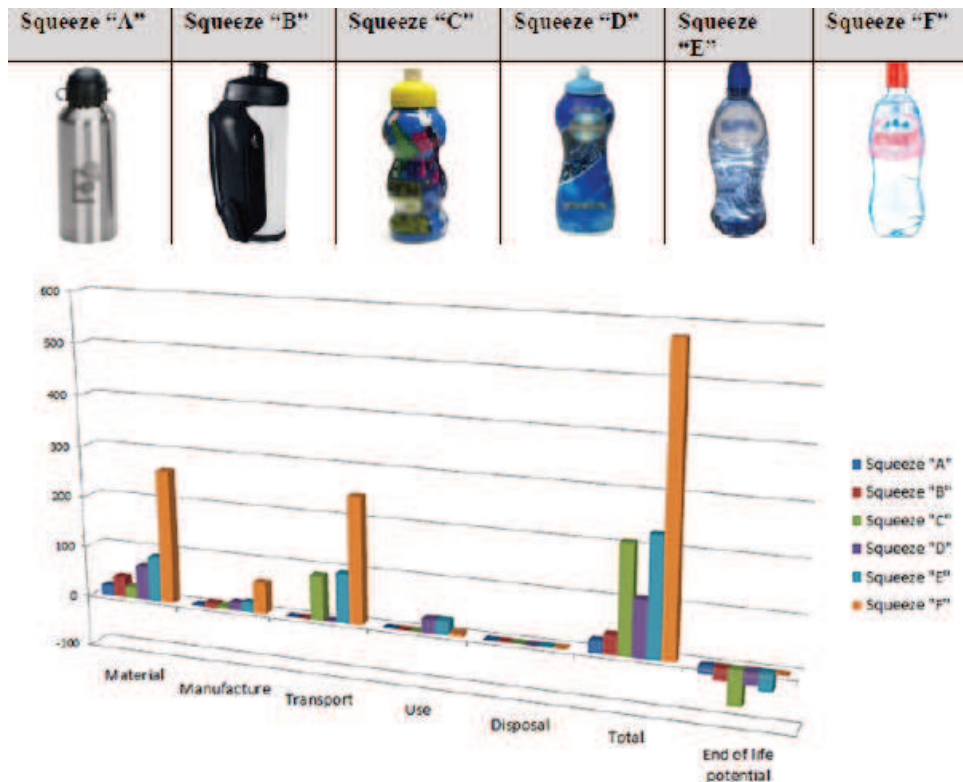
Liu et al. (2018) avaliaram o impacto ambiental como uma função do consumo de energia da máquina-ferramenta e consumo de energia incorporado do material de trabalho, ferramenta de corte e líquido refrigerante. Determinaram um limiar entre a utilização de usinagem a seco ou por inundação devido a seus respectivos impactos ambientais.

Olmez et al. (2016) realizaram uma avaliação do ciclo de vida da produção de ferro e aço na Turquia utilizando o software SimaPro e o método de avaliação de impacto IMPACT 2002 com o objetivo de comparar os impactos dos processos (coqueria, sinterização, fabricação de ferro, aço) e produtos finais (*billet*, fio-máquina laminado a quente, bobina laminada a

quente), simultaneamente. O processo de siderurgia exibiu o maior impacto ambiental total, seguido pela sinterização. A comparação dos impactos para os diferentes produtos finais revelou que a bobina a quente causa o maior impacto ambiental total, seguido pelo fio-máquina, tarugo e placa laminados a quente.

Marques (2013) utilizou a ferramenta Eco-Audit do CES EduPack para comparar seis tipos de *squeezes* (garrafa para acondicionamento de bebidas) de diferentes materiais, tempos de vida útil, transporte e consumo de energia (no resfriamento da bebida). A Figura 2.37 apresenta os produtos avaliados e resultados gráficos obtidos no EduPack.

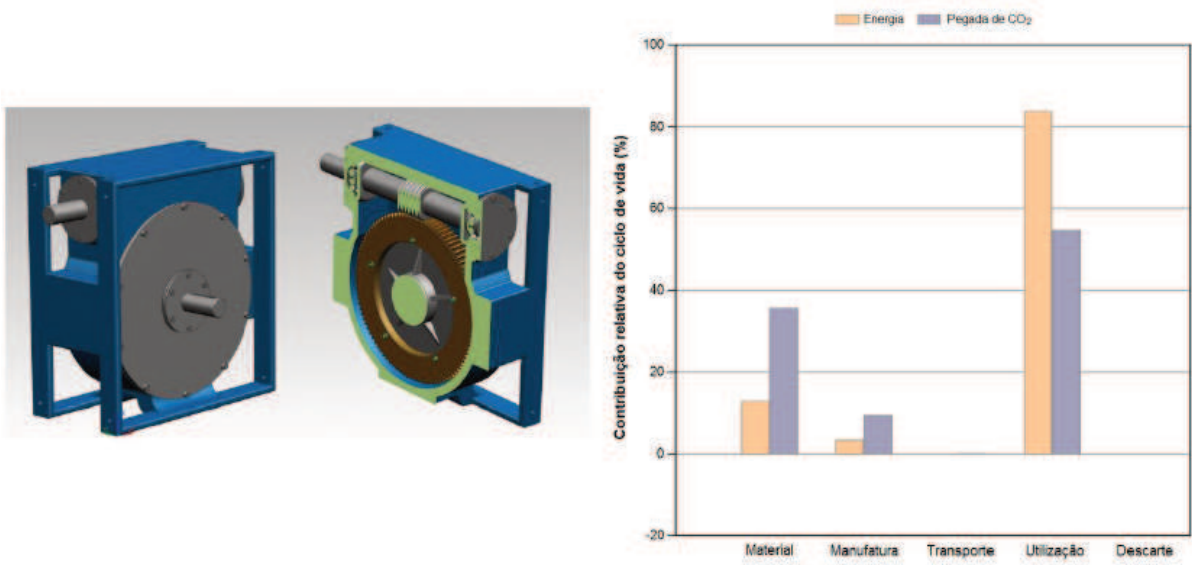
Figura 2.37 – Avaliação do Ciclo de Vida de Squeezes através do software Edupack



Fonte: Adaptado de Marques (2013).

Vazquez e Dutra (2017) avaliaram ambientalmente dois redutores de diferentes materiais e eficiências de transmissão utilizando o mesmo recurso do software EduPack. Verificaram que o novo redutor proposto, embora utiliza-se mais energia no material e processo, sua melhor eficiência mecânica resultava em menor consumo de energia elétrica. Ao final, os dois redutores aproximadamente equiparavam-se em seu desempenho ambiental. A Figura 2.38 ilustra o modelo do redutor avaliado e seus resultados gráficos.

Figura 2.38 – Avaliação do Ciclo de Vida de um redutor através do software Edupack



Fonte: Adaptado de Vazquez e Dutra (2017).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta os materiais, equipamentos e metodologia proposta para a obtenção dos objetivos deste trabalho experimental sobre um componente real utilizado na indústria.

3.1 MATERIAIS

Os principais materiais utilizados para o desenvolvimento deste trabalho estão descritos a seguir.

3.1.1 Rotores

Os rotores empregados no estudo foram fabricados, através de usinagem por turbilhonamento, nas dimensões do projeto original da bomba, a partir de quatro materiais distintos: SAE 12L14 cromado, atualmente utilizado comercialmente nas máquinas, PA6, PEEK e alumínio Liga 6082-T6. A Figura 3.1 apresenta o desenho de fabricação destas peças e a Figura 3.2 uma imagem de rotores originais.

Figura 3.1 – Desenho do rotor original da BCP da Percolore

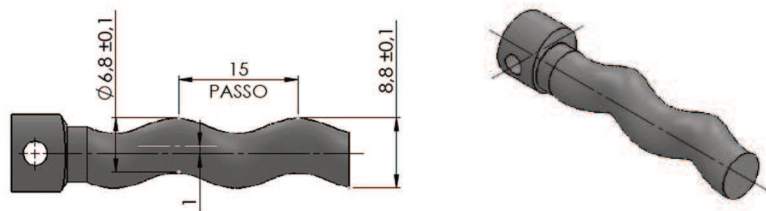


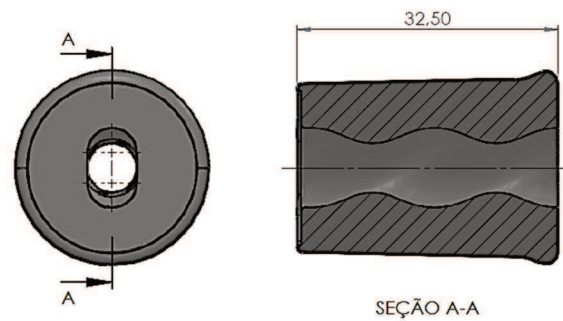
Figura 3.2 – Rotores em aço SAE 12L14 revestido de cromo, originais da BCP da Percolore



3.1.2 Estatores

Foram utilizados estatores de FKM (flúor-elastômero), apresentados pela Figura 3.3. Os mesmos são fabricados por vulcanização em matriz fechada, e empregados atualmente nas bombas da empresa parceira desta pesquisa.

Figura 3.3 – Desenho do rotor original da BCP da Percolore



3.1.3 Bombas de cavidades progressivas

Foram utilizadas bombas de cavidades progressivas, da Percolore Máquinas, para testes dos diferentes pares de rotores e estatores. Esta bomba, empregada nas máquinas tintométricas dosadoras da marca, possui configuração de rotor e estator para um estágio, é equipada com motor de passo e opera com velocidade angular de 400 rpm e vazão média de 280 ml/min , ambas grandezas nominais. A Figura 3.4 apresenta uma imagem das bombas.

Figura 3.4 – Bombas de cavidades progressivas da Percolore



3.1.4 Colorante tintométrico

O fluido utilizado neste estudo foi um colorante tintométrico azul, que compõe um dos doze colorantes do sistema tintométrico de um fabricante para o mercado brasileiro de tintas imobiliárias a base d'água. O mesmo é fornecido, ao lojista, pelo fabricante, em embalagens metálicas de 946 *ml*, para abastecimento de suas máquinas dosadoras.

3.2 MÉTODOS

Para realização deste trabalho a metodologia foi dividida em 9 etapas principais, conforme a seguir:

- Etapa 1: produção, aferição de componentes e montagem de bombas;
- Etapa 2: análise das características do colorante e sua interação com os polímeros;
- Etapa 3: desenvolvimento do equipamento de bancada para testes e medições;
- Etapa 4: medições e avaliações na bancada;
- Etapa 5: avaliação do processo de usinagem dos rotores;
- Etapa 6: avaliação de eficiência energética;
- Etapa 7: avaliação dos rotores através de estratégias de gestão ambiental;
- Etapa 8: cálculo do custo dos rotores;
- Etapa 9: análise de resultados.

As Figuras 3.5 e 3.6 mostram o diagrama resumido das etapas deste trabalho e que serão detalhadas nos itens subsequentes.

Figura 3.5 – Metodologia, etapas 1 a 4

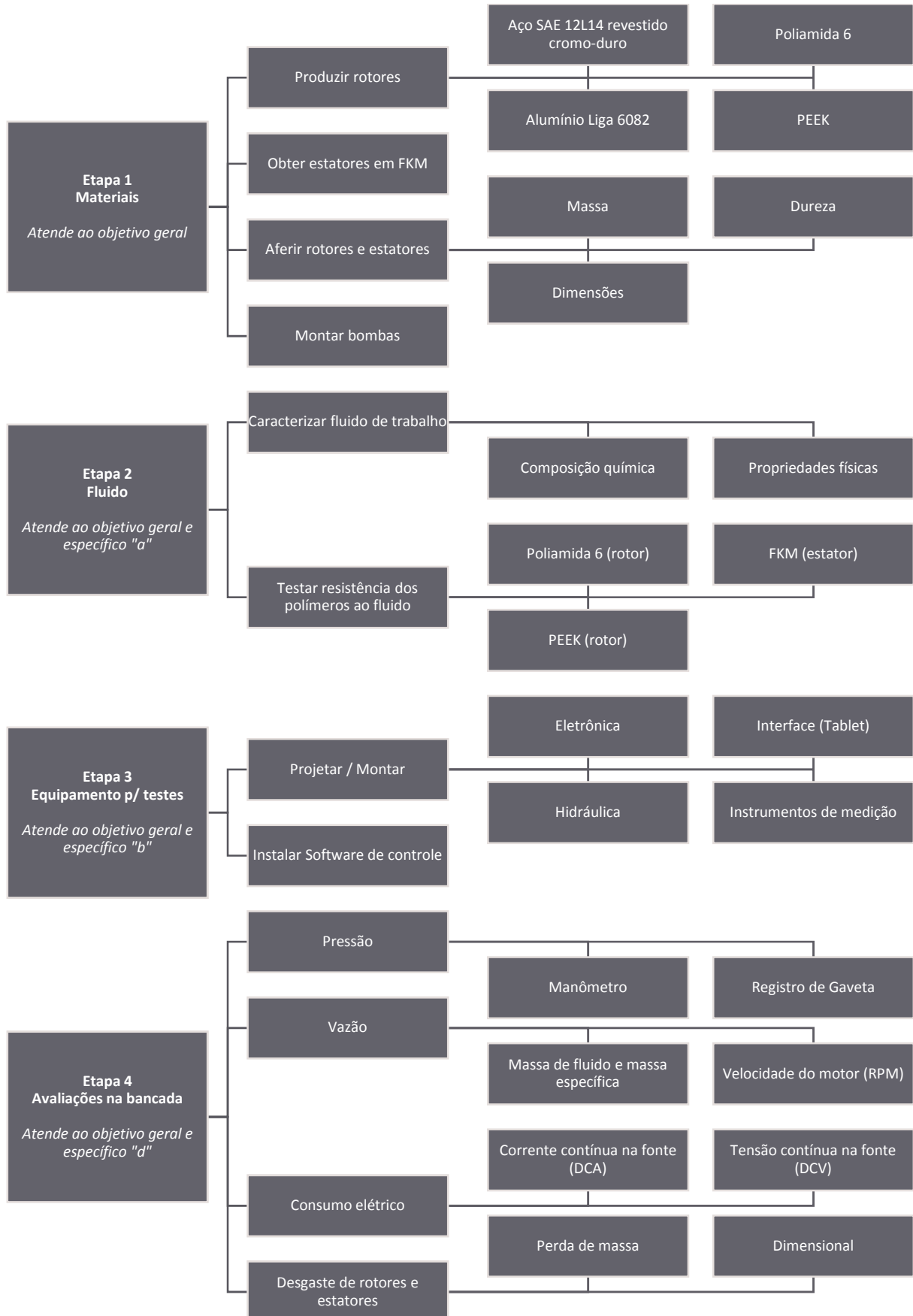
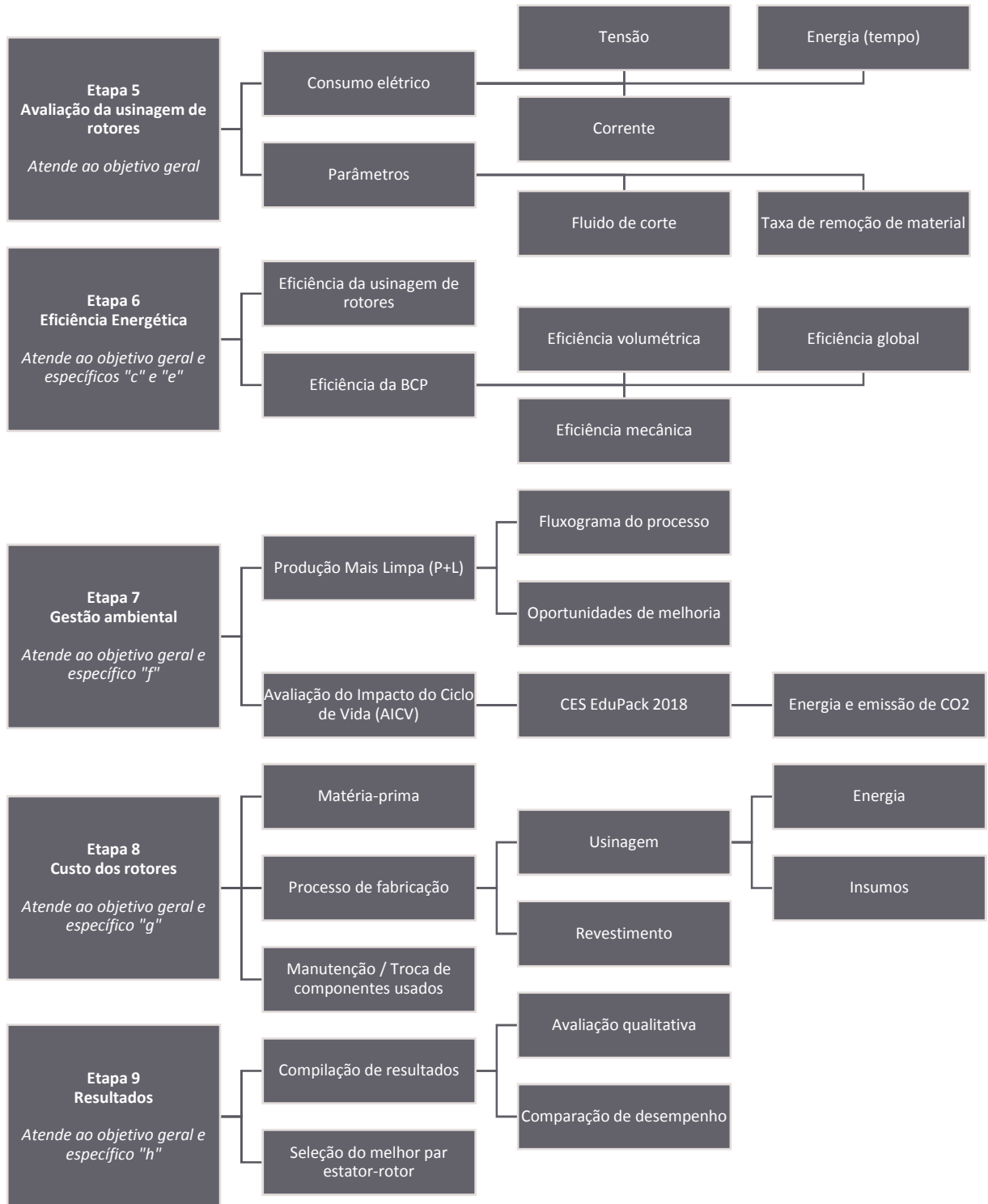


Figura 3.6 – Metodologia, etapas 5 a 9



3.2.1 Etapa 1 – Materiais

Esta etapa inicial aborda a produção, aferição de componentes e montagem de bombas, proporcionando meios para atender os objetivos específicos e geral, provendo todas BCPs que foram estudadas neste trabalho.

3.2.1.1 Produção de rotores

Foram fabricados seis rotores de cada um dos quatro materiais a partir de usinagem de barras redondas, sendo o rotor de aço SAE 12L14, original, o único que recebeu beneficiamento posterior, o revestimento de cromo-duro, que lhe confere resistência a oxidação. Os outros três materiais foram escolhidos por apresentarem elevada probabilidade de redução de custo, energia e impacto ambiental, embora de propriedades mecânicas muito inferiores.

O processo de usinagem dos quatro materiais utilizou os mesmos parâmetros e ferramentas e o fluido de corte não foi utilizado apenas para o PA6.

3.2.1.2 Produção de estatores

Os estatores, que formam com os rotores o par fundamental de uma BCP, são de FKM (flúor-elastômero), obtidos por vulcanização em matriz fechada.

3.2.1.3 Aferição de rotores e estatores

3.2.1.3.1 *Massa*

Os rotores e estatores passaram por medição de massa com uma balança de precisão, marca BEL, modelo S423, com resolução de 0,001 g e exatidão de $\pm 0,004$ g. Esta medida serve para comparação com a massa final, após o regime de testes empregados na Etapa 4, para avaliação de desgaste. A limpeza dos componentes após os testes foi realizada com água para remoção do colorante da superfície e a secagem ao ar livre.

3.2.1.3.2 *Dimensional*

Foi realizada avaliação dimensional nos rotores, com paquímetro digital com resolução de 0,01 mm e exatidão de $\pm 0,02$ mm, para obtenção de seus diâmetros de seção transversal,

d_R , e diâmetro externo do helicóide (maior diâmetro do rotor), d_{HR} . Estas medidas servem para calcular a vazão volumétrica nominal de cada bomba.

A avaliação dimensional não foi realizada nos estatores devido à complexidade desta operação para obtenção das medidas da cavidade interna destes componentes, por exemplo, por ultrassom. Neste caso, foi admitido que os mesmos possuem as dimensões de projeto.

3.2.1.3.3 Dureza

Foi computada a dureza de cada um dos materiais dos rotores e dos estatores em FKM, a partir da especificação do fabricante. Os rotores de aço e alumínio através nas escalas HRC (Rockwell C) e HB (Brinell), respectivamente. Os rotores de PA6 e PEEK por escala Shore D e os estatores de FKM por Shore A. Seus resultados contribuem para compreensão da influência nos mecanismos de desgaste presentes na BCP.

3.2.1.4 Montagem de bombas

Em posse de cada par estator-rotor e dos demais componentes que integram uma BCP, eixo, junta, retentor, etc., foram montadas as vinte e quatro bombas que foram avaliadas neste trabalho.

3.2.2 Etapa 2 – Colorante e polímeros

Esta etapa atende o objetivo específico “a” que investiga os parâmetros do fluido de trabalho, que neste caso é o colorante, e os polímeros que experimentam seu contato.

3.2.2.1 Avaliação do fluido de trabalho (colorante)

As propriedades e composição do fluido de trabalho, suas reações com os materiais aplicados aos componentes da bomba e, sua influência no desempenho do sistema, são de fundamental importância em uma BCP.

Portanto, foram verificados os valores de densidade e viscosidade deste colorante, E - 96-5 Azul, uma vez que são parâmetros relevantes na eficiência volumétrica. O mesmo teve sua densidade avaliada através da norma ABNT NBR 5829 (2014), com auxílio de um picnômetro de 100 ml e viscosidade através de conferência na FISPQ do respectivo fluido.

3.2.2.2 Resistência dos polímeros ao fluido (colorante)

A avaliação da interação do fluido com os polímeros foi balizada pela norma ASTM D471, que cobre os procedimentos necessários para avaliar a capacidade comparativa destes materiais para suportar o efeito de líquidos, por exemplo, absorção, entre outros. Portanto, foram avaliados neste item os rotores de PA6 e PEEK e os estatores de FKM.

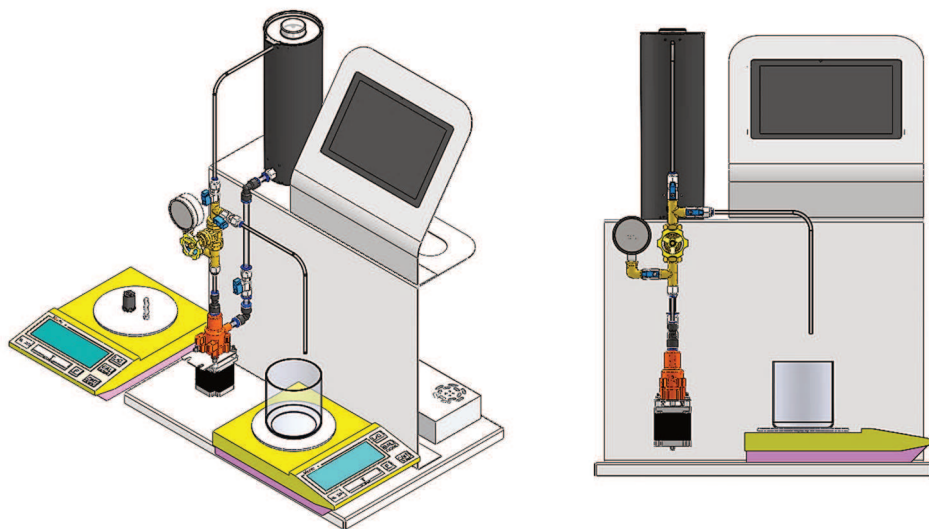
Basicamente, os componentes tiveram suas massas avaliadas e depois imersos num recipiente com o fluido, neste caso o colorante tintométrico, individualmente. Após o tempo determinado pela norma, que para esta aplicação foi 70 horas, as peças foram retiradas e passaram por avaliação mássica novamente. Foi utilizado um corpo de prova de cada material.

3.2.3 Etapa 3 – Equipamento para testes e medições

Esta etapa contemplou o objetivo específico “b”, através do projeto e produção de um equipamento que viabiliza os testes e medições necessárias para obtenção dos resultados que embasaram as conclusões. O mesmo reproduz fielmente o funcionamento e forma construtiva da máquina dosadora onde a BCP deste trabalho é aplicada, entretanto, dispondo de instrumentos de medição.

A Figura 3.7 ilustra o modelo 3D do projeto do equipamento.

Figura 3.7 – Projeto da bancada para testes experimentais das BCPs



3.2.3.1 Projeto e montagem do circuito hidráulico

O circuito hidráulico tem na BCP duas vias de saída e uma de entrada. Uma de saída reproduz a dosagem de colorante da máquina, por um bico de diâmetro de 2 mm , enquanto a outra via é de retorno para o reservatório, possibilitando recirculação do fluido. O desvio do fluxo entre estes caminhos é realizado manualmente por válvulas de esfera. A via de entrada da bomba conta com uma válvula de esfera para possibilitar seu fechamento e facilitar as trocas de bomba. O reservatório do fluido utilizado é o mesmo da dosadora, que na indústria tintométrica é chamado de cânister, e possui capacidade de dois litros. Tem uma saída que alimenta a BCP e, uma entrada, vindo de uma das vias de saída da bomba, para a recirculação.

3.2.3.2 Projeto e montagem do conjunto elétrico e eletrônico

O conjunto elétrico e eletrônico é idêntico ao da máquina dosadora, contendo a seguinte lista de materiais: fonte chaveada, placa-mãe, placa de drivers, drivers, motor de agitação e timer. A placa-mãe gerencia os comandos enviados pelo computador, através do protocolo de comunicação Modbus, e envia os sinais aos drivers, que os interpolam entre as bobinas do motor de passo da BCP. O motor de agitação e seu respectivo timer, agitaram o fluido do reservatório, por meio de pás, de acordo com as especificações exigidas pelo fabricante em relação a este produto.

3.2.3.3 Projeto e montagem da instrumentação

Um manômetro e um registro de gaveta, que possibilita a restrição gradual da área da seção transversal de passagem do fluido, foram instalados entre a saída da bomba e a bifurcação das vias para realizar medidas de pressão.

Uma balança de precisão, com resolução $0,001\text{ g}$ foi instalada para realizar medidas das massas de fluido dosadas pela bomba e massa específica (auxiliada por picnômetro).

Para verificar a temperatura interna do recipiente de colorante, chamado de cânister, foi instalado um termopar K Minipa MTK-01 ligado diretamente a um multímetro digital.

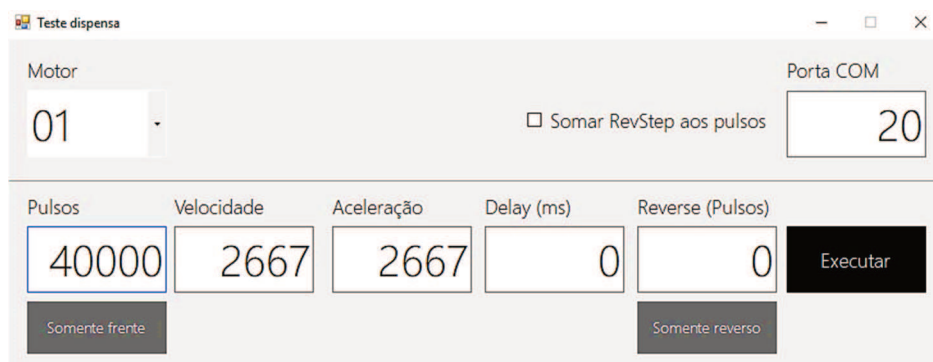
As medidas de consumo elétrico foram realizadas pela instalação de mais dois multímetros digitais. Um deles para medir a tensão contínua (DCV), com resolução de $0,01\text{ V}$ e exatidão de $\pm 0,09\text{ V}$ para a escala utilizada, e o outro para corrente contínua (DCA), com

resolução de 0,01 A e exatidão $\pm 0,01 A$ para a escala utilizada, enviadas ao motor de passo da bomba, possibilitando avaliação de potência.

3.2.3.4 Instalação de software de controle

Foi utilizado um software de interface simples, já desenvolvido anteriormente pela empresa, que faz a comunicação com a placa-mãe e envia os comandos básicos para o motor de passo: número de pulsos (deslocamento angular), velocidade e aceleração. O software também fornece opção de fazer o motor retornar uma determinada quantidade de pulsos, chamada de “reverse”, depois de um tempo definido, chamado de “delay”, que não foi utilizado para os testes. A Figura 3.10 apresenta esta interface.

Figura 3.8 – Interface do software de controle



3.2.3.5 Apresentação do equipamento

A Figura 3.9 exibe o processo de fabricação desta bancada: corte, dobra e solda de chapas, pintura, montagem eletroeletrônica, montagem do circuito hidráulico e, finalmente, montagem da instrumentação.

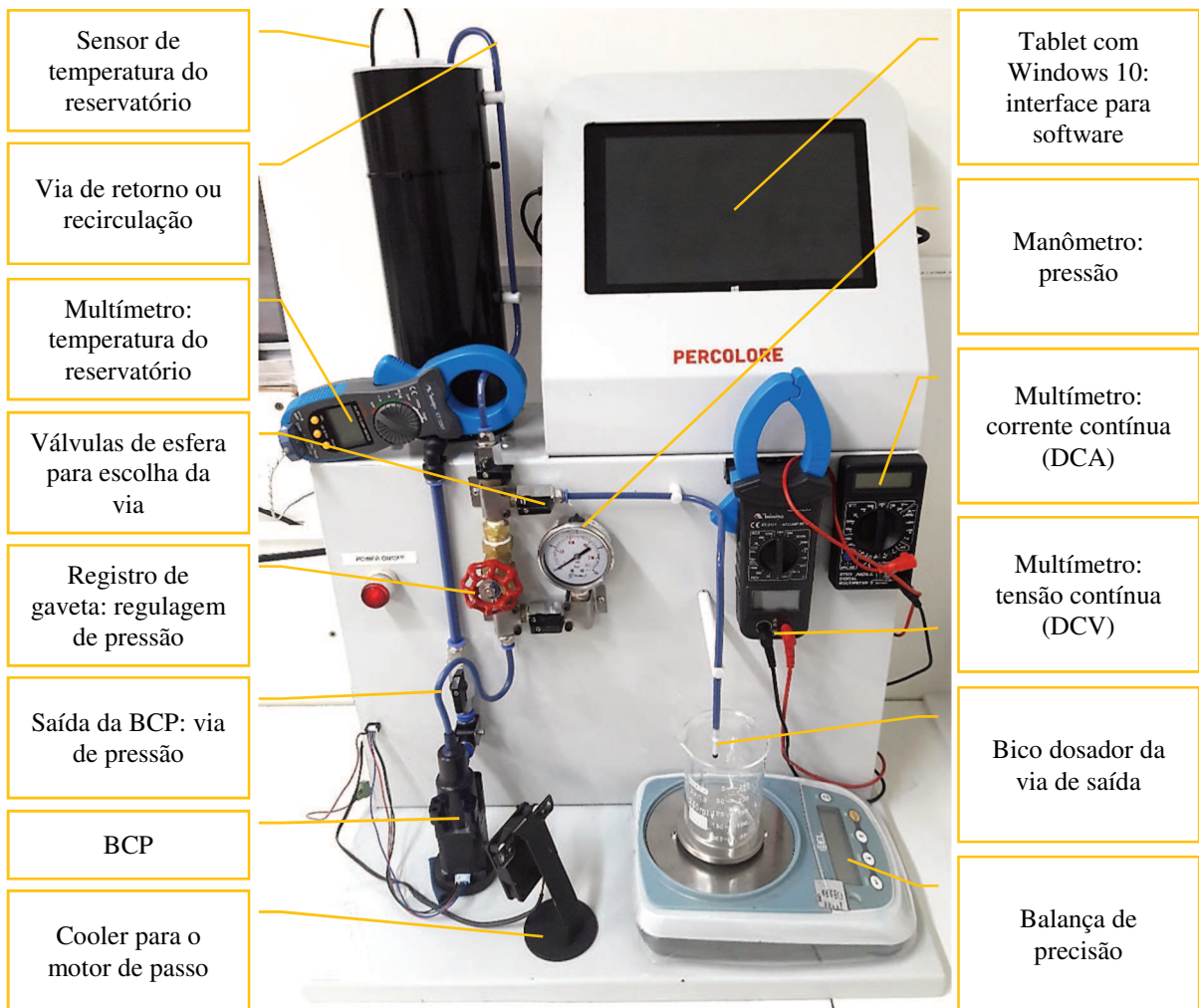
Figura 3.9 – Construção da bancada para testes experimentais das BCPs



A Figura 3.10 apresenta o equipamento pronto e identifica os principais componentes. Através deles, é possível realizar as medidas propostas nesta metodologia, posteriormente utilizadas para cálculo de resultados de eficiência energética.

O equipamento, ou bancada, construída para este trabalho apresentou forma construtiva similar aos equipamentos experimentais da literatura, apresentando como principais diferenciais o controle preciso de revolução da bomba, pela utilização de motor de passo, e uso de balança de precisão e densidade do fluido, auxiliada por picnômetro, para enquadrar-se no contexto do controle de qualidade de volume dosado na indústria tintométrica.

Figura 3.10 – Bancada de testes experimentais: identificação dos principais componentes



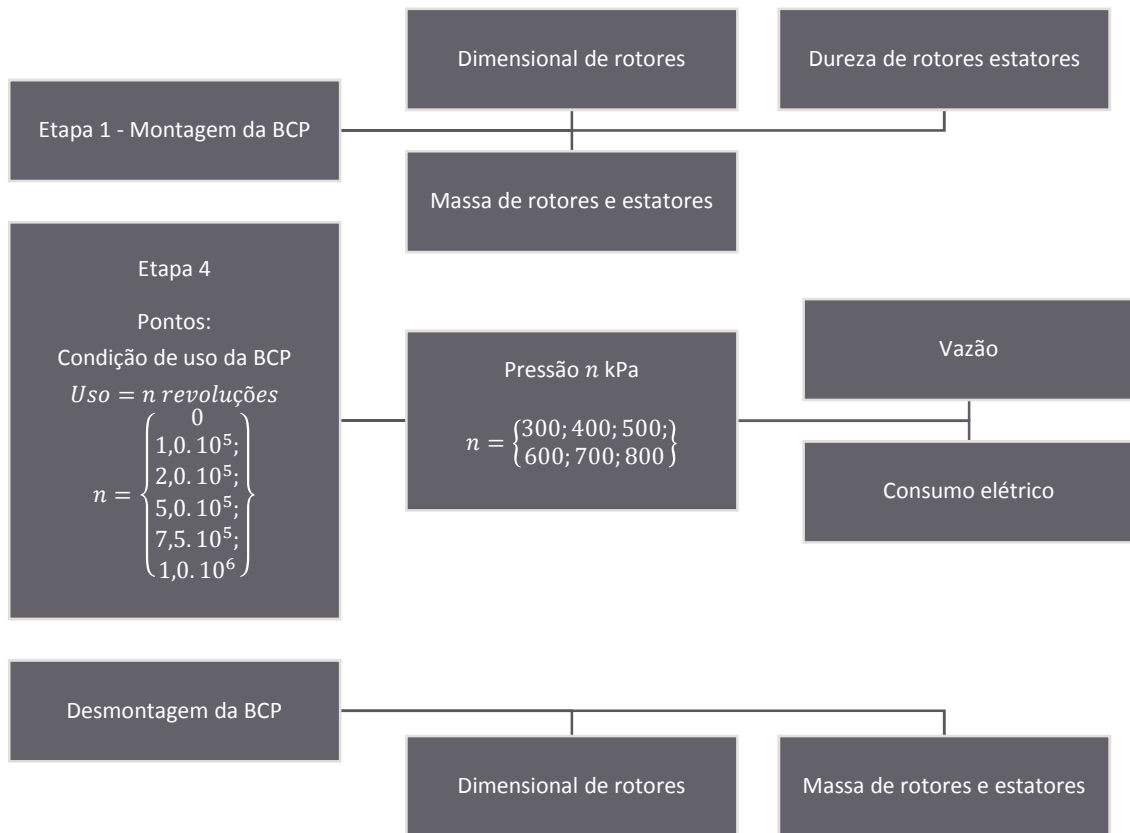
3.2.4 Etapa 4 – Medições e avaliações na bancada

O objetivo específico “d” é alcançado nesta etapa.

Na bancada foram avaliados quatro parâmetros principais: desgaste dos rotores e estatores, pressão, vazão e consumo elétrico de cada bomba. O desgaste com objetivo de estimar a durabilidade, pressão e vazão para gerar a curva característica da bomba ao longo da operação e, o consumo elétrico, para quantificar a eficiência e acompanhar sua variação ao longo da vida da BCP.

A Figura 3.11 apresenta o diagrama dos pontos escolhidos e suas devidas medições. As seções subseqüentes explicam em detalhes como são realizadas as avaliações.

Figura 3.11 – Diagrama dos pontos de avaliação



Todas medidas foram realizadas com os mesmos parâmetros enviados ao motor de passo da BCP, dispostos na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Parâmetros enviados ao motor de passo para as avaliações

Parâmetro	Valor	
Deslocamento angular (θ)	100 revoluções	40000 pulsos
Velocidade angular (ω)	400 rev/min	2667 pulsos/s
Aceleração angular (α)	24000 rev/min ²	2667 pulsos/s ²

A velocidade e a aceleração são as de projeto da bomba, ou seja, as nominais, que são praticadas nas máquinas dosadoras fabricadas pela empresa. Os valores na unidade de pulsos na extrema direita da Tabela 3.1 são consequências do motor de passo e a configuração de “microsteps” utilizada no driver que executa seu controle. O padrão atual utiliza um motor com forma construtiva de 200 passos por revolução e um driver trabalhando na configuração que divide cada pulso do motor por dois. Portanto, para que o motor de passo efetue uma revolução completa, deve ser informado ao driver, um comando de 400 pulsos.

3.2.4.1 Desgaste de rotores e estatores

O desgaste de rotores e estatores foi quantificado através da variação de suas massas, iniciais e finais, em uma balança de precisão e determinado o volume desgastado, através da massa específica de cada material. A massa inicial foi avaliada antes de estes componentes serem montados nas bombas, descrito na Etapa 1. Já a final foi feita após a conclusão do tempo de testes e desmontagem de cada bomba. A Figura 3.11 mostra os pontos destas medições.

3.2.4.2 Pressão da BCP

A medida de pressão serve para gerar a curva característica de cada bomba em conjunto com a vazão. Foi regulado o fechamento do registro de gaveta até atingir cada ponto de pressão pretendido para medição da vazão. Os pontos são em: 300 kPa, 400 kPa, 500 kPa, 600 kPa, 700 kPa e 800 kPa, conforme ilustrado na Figura 3.11.

3.2.4.3 Vazão da BCP

3.2.4.3.1 *Vazão nominal*

A vazão nominal da bomba foi obtida através da multiplicação do volume teórico deslocado, apresentado pela Equação 2.2, pela velocidade angular do motor, resultando na Equação 3.1.

$$\dot{V}_n = [(4ed_R) - (8ew) - \pi(wd_R - w^2)]L_S + \left[\frac{d_R^2}{2} \sin^{-1}\left(\frac{2}{d_R}\sqrt{wd_R - w^2}\right) - 2\left(\frac{d_R}{2} - w\right)\sqrt{wd_R - w^2}\right]L_S\omega \quad (3.1)$$

Onde os valores do diâmetro do rotor (d_R) e excentricidade (e) foram extraídos da avaliação dimensional da Etapa 1. O passo do estator (L_S) e interferência (w) foram extraídos das medidas de projeto e a velocidade angular nominal da bomba também. A Tabela 3.2 apresenta estes dados.

Tabela 3.2 – Parâmetros para cálculo da vazão nominal

Parâmetro	Valor
Diâmetro do rotor (d_R)	Conforme avaliação dimensional da Etapa 1
Excentricidade (e)	Conforme avaliação dimensional da Etapa 1
Passo do estator (L_S)	30 mm – Conforme projeto
Interferência (w)	0,15 mm – Conforme projeto
Velocidade angular (ω)	400 rev/min – Conforme projeto

3.2.4.3.2 Vazão real

A vazão real foi avaliada através de três parâmetros: massa específica do fluido no momento da medição (ρ), massa de fluido dosada (m) em um determinado deslocamento angular (θ) e velocidade do motor de passo (ω).

A massa específica do fluido foi obtida dosando-o no picnômetro e avaliando na balança de precisão acoplada a bancada, antes de realizar as demais medidas. O quociente da massa de fluido pelo volume nominal do picnômetro resulta em sua massa específica (ρ).

Os parâmetros apresentados na Tabela 3.1 foram enviados ao motor de passo, propulsor da BCP, e foram computados os valores de massa de fluido, medidos na balança de precisão, em cada ponto de pressão.

Então, a partir da Equação 3.2, foi determinada a vazão real para cada pressão, dando meios à criação da curva característica da bomba. Esta, ainda, criada para determinados tempos de uso da BCP, como forma de acompanhar seu desempenho ao longo da vida útil.

$$\dot{V}_r = \frac{m\omega}{\rho\theta} \quad (3.2)$$

Em geral, para máquinas tintométricas, este parâmetro é informado em mililitros por minuto.

3.2.4.4 Consumo elétrico da BCP

Simultaneamente as medidas de vazão, foram obtidos os valores de corrente (I) e a tensão (U) elétrica para os mesmos pontos. A partir destes, foi calculada a potência elétrica entregue ao motor de passo da BCP pela Equação 3.3.

$$P_e = IU \quad (3.3)$$

Ambas medidas foram obtidas através de dois multímetros digitais. O pico de corrente e tensão na partida do motor foi desconsiderada, e a leitura dos instrumentos foi feita a partir da estabilização dos mesmos.

A energia elétrica consumida foi obtida a partir da multiplicação da potência, calculada pela Equação 3.3, pelo tempo de acionamento da bomba, este, através do quociente do deslocamento angular (θ) e velocidade do motor de passo (ω), resultando na Equação 3.4.

$$E_{BCP} = \frac{IU\theta}{\omega} \quad (3.4)$$

3.2.5 Etapa 5 – Usinagem dos rotores

A importância da avaliação do processo de fabricação dos rotores, neste caso a usinagem por turbilhonamento, se dá pela grande diferença entre os materiais estudados. Portanto, contribui para a definição dos resultados da última etapa.

3.2.5.1 Consumo elétrico

Foi avaliado o consumo elétrico para usinagem de cada tipo de rotor, ou seja, de cada um dos quatro materiais em estudo: aço SAE 12L14, alumínio liga 6082, PA6 e PEEK. Afinal, se tratando de materiais com diferentes propriedades mecânicas, apresentarão esforços de corte distintos e, conseqüentemente, consumos distintos.

Para a avaliação foram utilizados multímetros digitais que realizarão a leitura da corrente e tensão elétrica de cada ferramenta do torno CNC para o cálculo da potência, através da mesma Equação 3.3 apresentada anteriormente. Os tempos de uso de cada ferramenta foram obtidos no próprio software CAM. A partir da potência e tempo (t) de cada operação no torno, foi calculada a energia consumida em cada operação para cada material de rotor, fazendo uso da Equação 3.5.

$$E_{f,n} = IUt \quad (3.5)$$

Finalmente, a energia consumida total para a fabricação do rotor é a soma da energia consumida em cada operação ou ferramenta, apresentada pela Equação 3.6.

$$E_{usin} = \sum E_{f,n} \quad (3.6)$$

3.2.5.2 Consumo de fluido de corte

Foi avaliada a necessidade do uso de fluido de corte, para a usinagem de cada um dos quatro materiais, baseada na qualidade do acabamento superficial obtido. Seu uso potencializa o consumo elétrico, descrito no item anterior, uma vez que aciona uma bomba para sua recirculação. Outro fator importante é a questão ambiental, uma vez que o fluido necessita tratamento e destino final correto.

3.2.6 Etapa 6 – Avaliação de eficiência energética

Esta etapa atende aos objetivos específicos “c” e “e”.

Foi realizada uma avaliação da eficiência energética ao longo da cadeia produtiva dos rotores e de seu desempenho em trabalho nas BCPs. Portanto, foi mensurada a eficiência do processo de fabricação e eficiência da bomba, conseqüente de sua aplicação.

3.2.6.1 Eficiência da usinagem de rotores

A análise da eficiência da usinagem dos rotores foi embasada por três parâmetros: taxa de remoção de material, energia específica de corte de turbilhonamento e energia específica de corte total.

3.2.6.1.1 Taxa de remoção de material

A taxa de remoção de material (*TRM*) relaciona o volume de material usinado (cavaco) pelo tempo de usinagem. O cálculo deste parâmetro foi realizado através da Equação 3.7. A profundidade de corte (a_p) foi obtida pela subtração do raio do material bruto, pelo raio final pretendido, definido em projeto, conforme Equação 3.8. A velocidade de corte (v_c) foi calculada através da Equação 3.9, multiplicando-se o perímetro do rotor, que varia com d_R , pela velocidade angular do turbilhonador (ω_{turb}) utilizada atualmente no processo. O valor do avanço (f) também foi o utilizado atualmente pela empresa. A Tabela 3.3 apresenta os dados.

$$TRM = a_p v_c f \quad (3.7)$$

$$a_p = \frac{d_b}{2} - \frac{d_r}{2} \quad (3.8)$$

$$v_c = \pi d_r \omega_{turb} \quad (3.9)$$

Tabela 3.3 – Dados de usinagem do rotor

Parâmetro	Valor
Diâmetro do material bruto (d_b)	9,525 mm; conforme projeto
Velocidade do turbilhoador (ω_{turb})	1000 rev/min; conforme processo
Avanço (f)	0,0213 mm/volta; conforme processo

3.2.6.1.2 Energia específica de corte

A energia específica de corte relaciona a energia consumida em relação ao volume de material usinado (cavaco). Este parâmetro foi avaliado de duas maneiras: energia específica de turbilhoador e energia específica de todo processo de usinagem.

A energia específica de turbilhoador considerou apenas a potência elétrica do motor de acionamento do turbilhoador, avaliado na Etapa 5, de forma fiel a revisão da literatura. O resultado foi obtido pela Equação 3.10.

$$u_{turb} = \frac{P_{turb}}{TRM} \quad (3.10)$$

Como forma de avaliar o processo como um todo, ou seja, todas operações presentes na usinagem do rotor, até mesmo, por exemplo, o acionamento do motor de fluido de corte e servos de movimentação de eixos, foi proposto um cálculo através da Equação 3.11.

$$u_{usin} = \frac{E_{usin}}{t_{turb} TRM} \quad (3.11)$$

O resultado deste cálculo também é em termos de energia consumida por volume de material usinado. Desta forma, foi possível avaliar a eficiência de usinagem de cada rotor e comparar, principalmente, a eficiência do material no processo.

3.2.6.2 Eficiência da BCP

A eficiência da BCP foi avaliada por três parâmetros: volumétrico, mecânico e total. Estes foram calculados para cada ponto de medida definido na Etapa 4. Portanto, foi possível avaliar as eficiências ao longo da vida da bomba.

3.2.6.2.1 Eficiência volumétrica

A eficiência volumétrica foi calculada, através da Equação 3.12, pela razão entre a vazão real (\dot{V}_r) e a nominal (\dot{V}_n), ambas obtidas na Etapa 4.

$$\eta_{vol} = \frac{\dot{V}_r}{\dot{V}_n} \quad (3.12)$$

Este parâmetro é de extrema importância no contexto do trabalho. Afinal, para que a BCP mantenha precisão nas dosagens ao longo de sua vida útil, a eficiência volumétrica não pode experimentar diferenças significativas. Portanto, é utilizado para definir intervalo de manutenção das máquinas dosadoras.

A diferença entre as vazões em uma BCP está diretamente ligada as perdas por escorregamento (*lift*), transversal e longitudinal, em que o fluido se movimenta no sentido contrário ao recalque. Entretanto, este tipo de perda faz parte do princípio de funcionamento deste tipo de bomba.

3.2.6.2.2 Eficiência mecânica

A eficiência mecânica (η_{mec}) quantifica as perdas mecânicas presentes no mecanismo de funcionamento de uma BCP: atrito, calor, vibração, transmissão, deformação, entre outras. Este parâmetro foi obtido através do quociente entre a eficiência global (η_s) e a volumétrica (η_{vol}), apresentado pela Equação 3.13.

$$\eta_{mec} = \frac{\eta_s}{\eta_{vol}} \quad (3.13)$$

Bombas de cavidades progressivas que trabalham com interferência entre rotor e estator, como a do trabalho em questão, experimentam valores baixos de eficiência mecânica, uma vez que consomem grande parte da energia para vencer o atrito e a deformação da interface de contato entre estes dois componentes.

Portanto, este parâmetro é fortemente influenciado pelo grau de acabamento superficial obtido pelo processo de usinagem dos diferentes materiais de rotores, já que não há mudança de material do estator no estudo.

3.2.6.2.3 *Eficiência global*

A eficiência global da uma estimativa total do desempenho da BCP, considerando as perdas volumétricas e mecânicas. Seu valor foi alcançado pela Equação 3.14. No quociente da mesma, o numerador quantifica a potência realmente transmitida ao fluido, pela multiplicação da pressão (ΔP) e vazão real (\dot{V}_r) em cada ponto de medição, enquanto o denominador utiliza a potência elétrica fornecida ao motor da bomba. Estes três valores foram obtidos nas medições da Etapa 4.

$$\eta_s = \frac{\Delta P \cdot \dot{V}_r}{P_e} \quad (3.14)$$

3.2.7 **Etapa 7 – Ferramentas de gestão ambiental**

Esta etapa alcança o objetivo específico “f”.

O rotor fabricado a partir dos diferentes materiais foi avaliado através de duas estratégias de gestão ambiental: Programa de Produção Mais Limpa (P+L) e Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV).

3.2.7.1 Produção Mais Limpa (P+L)

Com foco no processo de fabricação do rotor, foram comparadas as oportunidades de melhoria no processo, conforme a estrutura da P+L, para os diferentes materiais aplicados ao rotor.

3.2.7.2 Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV)

Os materiais aplicados ao rotor foram julgados através da Avaliação do Ciclo de Vida, com ênfase em sua fase 3, que trata da Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) por meio do software CES EduPack 2018, com base nos resultados de energia consumida e emissão de dióxido de carbono (CO_2).

3.2.8 Etapa 8 – Custo

Esta etapa contempla o objetivo específico “g”.

O custo foi avaliado em três etapas: matéria-prima, processo de fabricação e manutenção consequente da durabilidade.

3.2.8.1 Matéria-prima

O custo da matéria-prima foi computado pelos orçamentos e compra dos materiais para produção dos rotores da Etapa 1. Tratam-se de barras redondas de diâmetro 3/8” (9,525 mm) de mesmo comprimento. Desta forma, o custo por metro do material foi obtido e comparado.

3.2.8.2 Processo de fabricação

Foi avaliado o custo do processo de fabricação dos rotores através da energia consumida na usinagem de cada rotor multiplicado pelo valor da energia elétrica da concessionária local. O custo dos insumos, fluido de corte e insertos, utilizaram como referência dados de consumo dos mesmos no processo de usinagem atual da empresa, ou seja, do rotor de aço SAE 12L14, dispostos na Tabela 3.4, e o valor de compra dos mesmos.

Tabela 3.4 – Consumo de insumos da usinagem do rotor de aço SAE 12L14

Parâmetro	Consumo
Fluido de corte	15000 rotores/20 litros
Insertos do turbilhoador	180 rotores/inserto
Bedame	1000 rotores/bedame
Broca toroidal	1000 rotores/broca

No caso específico do rotor de aço SAE 12L14 foi acrescido o custo de revestimento de cromo utilizado atualmente no componente. Os demais não utilizam revestimento e não computaram o valor deste beneficiamento.

3.2.8.3 Manutenção por desgaste

A partir da durabilidade da BCP estimada pelos dados de desgaste e eficiência volumétrica, obtidos nas Etapa 4 e 6, respectivamente, foi calculado o custo de manutenção pela troca do par estator e rotor em função do tempo de vida destes componentes.

3.2.9 Etapa 9 – Resultados

Os resultados foram compilados e tratados de modo a ilustrá-los de forma que embase a discussão e conclusão do problema proposto. Neta etapa atendeu o objetivo específico “h”.

3.2.9.1 Comparação qualitativa de desempenho dos materiais estudados

Foi apresentada uma avaliação qualitativa resumida de todos resultados obtidos no presente estudo para facilitar a visualização de desempenho, em cada etapa, dos diferentes materiais estudados ao rotor da BCP.

3.2.9.2 Seleção do melhor par estator-rotor

A partir dos diversos resultados apresentados para os quatro tipos de BCPs, foi eleito qualitativamente o par estator-rotor que melhor atenda eficiência energética, custo e impacto ambiental.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados e discutidos os resultados obtidos, através da metodologia utilizada, para atender aos objetivos propostos.

4.1 PRODUÇÃO, METROLOGIA DE ROTORES E ESTADORES E MONTAGEM DAS BOMBAS

Foram produzidos os rotores, a partir dos quatro diferentes materiais, e os estatores, para as práticas experimentais. A Figura 4.1 apresenta estes corpos de prova.

Figura 4.1 – Corpos de prova (rotores) e seus respectivos estatores



a) Rotores de aço SAE 12L14 cromados; b) Rotores de PA6; c) Rotores de PEEK;
d) Rotores de alumínio Liga 6082

Os resultados metrológicos dos rotores estão dispostos nas Tabelas 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 e Figuras 4.2 e 4.3 a seguir. Todos os componentes apresentaram medidas que respeitaram a tolerância dimensional estabelecida em projeto, como pode ser visto nas figuras. O campo de tolerância (afastamento superior e afastamento inferior) é mostrado pelas linhas tracejadas, nos limites da escala, sendo a cota nominal a linha tracejada de cor preta. Tomadas as médias e o desvios padrão das medidas, computado nas tabelas, foi possível verificar a influência do material na obtenção destes componentes pelo processo de usinagem por turbilhamento.

Figura 4.2 – Diâmetro da seção circular dos corpos de prova (rotores) de cada material

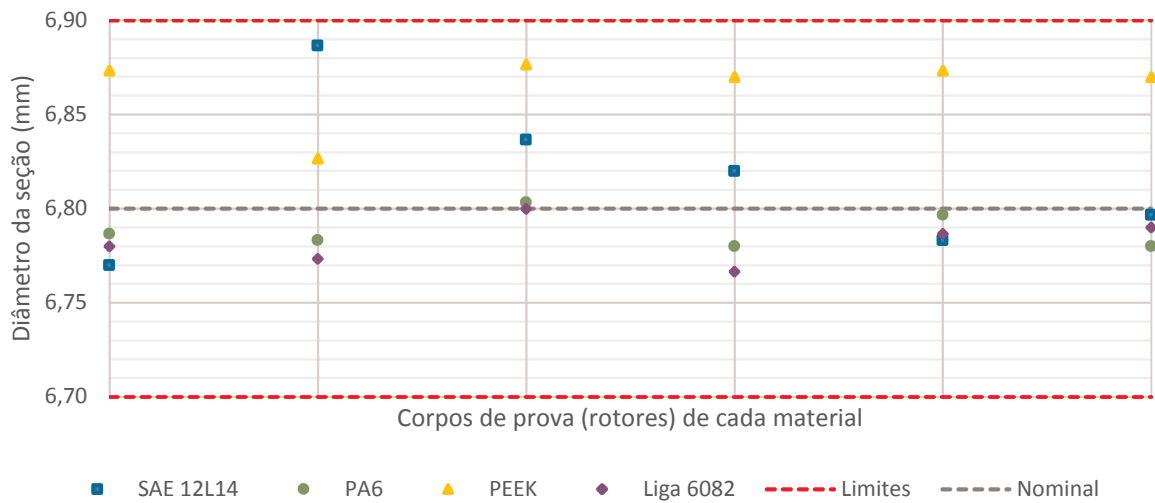
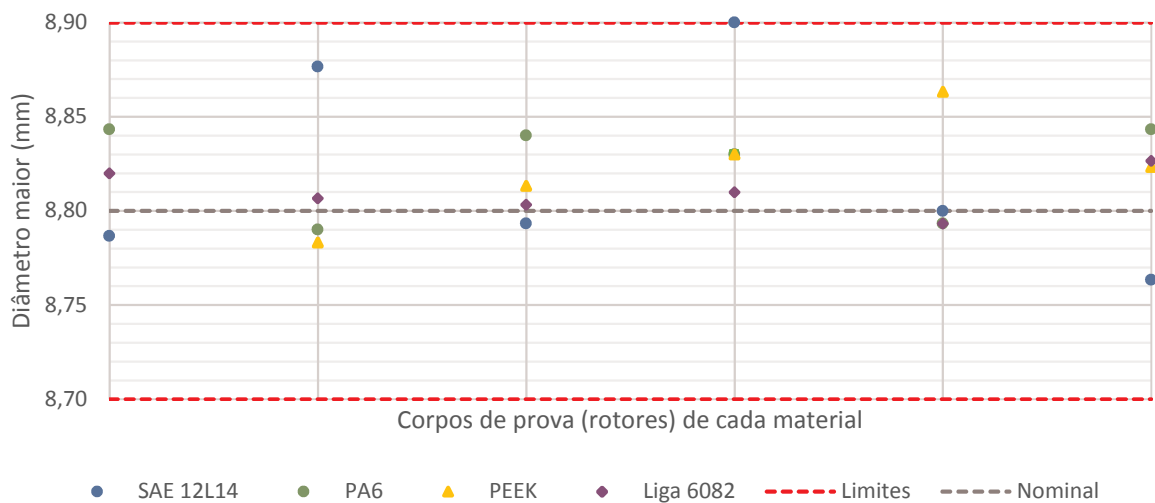


Figura 4.3 – Diâmetro maior dos corpos de prova (rotores) de cada material



Os rotores de aço apresentaram o maior desvio padrão, devido ao maior esforço de corte que, conseqüentemente, gera maior vibração e instabilidade do processo. O diâmetro médio da seção do rotor foi de 6,82 mm com desvio padrão foi de 0,04 mm e o diâmetro maior de 8,82 mm com 0,05 mm de desvio padrão. Como era esperado, os rotores de PA6 retrataram melhora na estabilidade dimensional, em relação ao aço, por exigir menor esforço de corte. Seu desvio padrão do diâmetro da seção reduziu para 0,01 mm, para a média de 6,79 mm, e do diâmetro maior para 0,03 mm, para a média de 8,82 mm. Os rotores de PEEK registraram piora nos resultados de estabilidade dimensional, comparados ao PA6, também polímero. Computaram 0,02 mm e 0,04 mm de desvio padrão, para as médias de 6,87 mm e 8,84 mm, do diâmetro da

seção e diâmetro maior, respectivamente. Acredita-se que o aumento do esforço de corte, em função da dureza, e deformação do material, pelo baixo módulo de elasticidade, assim como o PA6, na usinagem do componente, resultaram no aumento dimensional e, aparentemente, pior acabamento superficial visual. Já o alumínio, registrou a maior estabilidade dimensional e exatidão entre os quatro materiais. Suas médias apresentaram 6,78 mm para a seção do rotor com 0,01 mm de desvio padrão e 8,81 para o diâmetro maior com, novamente, 0,01 mm de desvio padrão.

Nas tabelas é apresentado também o valor da excentricidade, que é calculada a partir das dimensões do diâmetro da seção e do diâmetro maior. Esta dimensão é importante pois utiliza-se para cálculo de vazão das bombas, posteriormente.

Tabela 4.1 – Metrologia dos rotores em aço SAE 12L14 cromados

<i>Rotor SAE 12L14 cromado</i>					
Corpo de prova	Massa (g)	Diâmetro (mm)	Diâmetro maior (mm)	Excent. (mm)	Dureza (HRC)
1	12,739	6,77	8,79	1,01	70
2	13,477	6,89	8,88	0,99	
3	12,898	6,84	8,79	0,98	
4	13,005	6,82	8,90	1,04	
5	12,874	6,78	8,80	1,01	
6	12,896	6,80	8,76	0,98	
Média	12,982	6,82	8,82	1,00	
Desvio padrão	0,257	0,04	0,05	0,02	

Tabela 4.2 – Metrologia dos rotores em Poliamida 6 (PA6)

<i>Rotor Poliamida 6 (PA6)</i>					
Corpo de prova	Massa (g)	Diâmetro (mm)	Diâmetro maior (mm)	Excent. (mm)	Dureza (Shore D)
7	2,538	6,79	8,84	1,03	72
8	2,504	6,78	8,79	1,00	
9	2,52	6,80	8,84	1,02	
10	2,513	6,78	8,83	1,03	
11	2,505	6,80	8,79	1,00	
12	2,528	6,78	8,84	1,03	
Média	2,518	6,79	8,82	1,02	
Desvio padrão	0,013	0,01	0,03	0,01	

Tabela 4.3 – Metrologia dos rotores em PEEK

<i>Rotor PEEK</i>					
Corpo de prova	Massa (g)	Diâmetro (mm)	Diâmetro maior (mm)	Excent. (mm)	Dureza (Shore D)
13	2,412	6,87	8,90	1,02	85
14	2,348	6,83	8,78	0,98	
15	2,386	6,88	8,81	0,97	
16	2,388	6,87	8,83	0,98	
17	2,403	6,87	8,86	1,00	
18	2,366	6,87	8,82	0,98	
Média	2,384	6,87	8,84	0,99	
Desvio padrão	0,024	0,02	0,04	0,02	

Tabela 4.4 – Metrologia dos rotores em alumínio Liga 6082

<i>Rotor Alumínio Liga 6082</i>					
Corpo de prova	Massa (g)	Diâmetro (mm)	Diâmetro maior (mm)	Excent. (mm)	Dureza (HB)
19	4,486	6,78	8,82	1,02	100 HB
20	4,487	6,77	8,81	1,02	
21	4,478	6,80	8,80	1,00	
22	4,476	6,77	8,81	1,02	
23	4,485	6,79	8,79	1,00	
24	4,483	6,79	8,83	1,02	
Média	4,483	6,78	8,81	1,01	
Desvio padrão	0,005	0,01	0,01	0,01	

Os estatores passaram por avaliação mássica para embasar as medidas de desgaste após sua utilização. A Tabela 4.5 exhibe que a massa média foi de 19,431 g e o desvio padrão de 0,201 g, registrando 20,012 g e 19,030 g como maior e menor massa, respectivamente. Também se verifica, através da Figura 4.4, que mais de 80% dos estatores possuem 19,270 g e 19,510 g. A variação de massa destes componentes se dá em função da variação de pressão, temperatura e tempo no processo de injeção e na pós-cura que, conseqüentemente, podem influenciar na compactação do material e em sua geometria final. Entretanto, em virtude da complexidade de avaliação dimensional do estator, principalmente a geometria das cavidades internas, os cálculos que envolvem estas informações utilizam sua medida de projeto.

Figura 4.4 – Histograma da avaliação de massa dos estatores

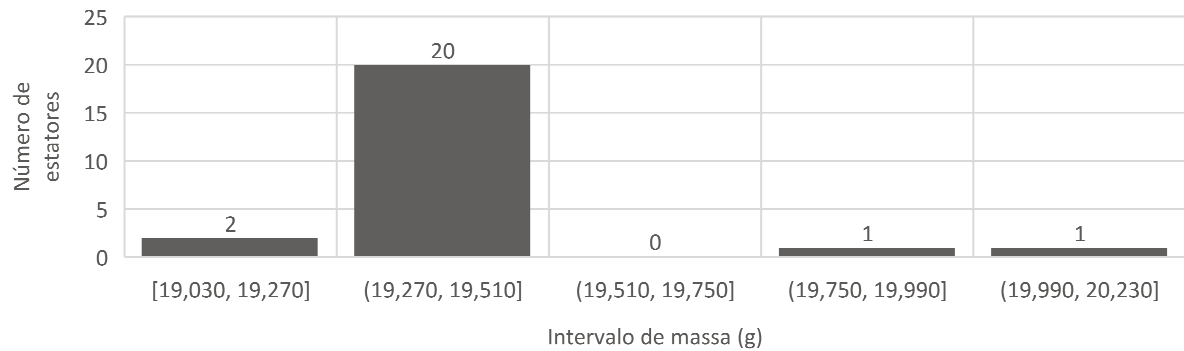


Tabela 4.5 – Metrologia dos estatores em FKM

<i>Estator FKM</i>		
Corpo de prova	Massa (g)	Dureza (Shore A)
1	19,281	
2	19,298	
3	19,428	
4	19,432	
5	19,455	
6	19,464	
7	19,989	
8	19,335	
9	19,398	
10	19,438	
11	19,430	
12	20,012	
13	19,445	70
14	19,286	
15	19,320	
16	19,465	
17	19,415	
18	19,448	
19	19,435	
20	19,266	
21	19,474	
22	19,437	
23	19,030	
24	19,371	
Média	19,431	
Desvio padrão	0,201	
Máximo	20,012	
Mínimo	19,030	

A dureza dos componentes também foi disposta nas tabelas. Foram utilizados os valores informados no certificado de conformidade do fornecedor de cada um dos materiais, uma vez que este parâmetro será utilizado de forma qualitativa para compreensão dos mecanismos de desgaste. Portanto, uma pequena variação do valor computado não influencia significativamente no entendimento do desgaste, uma vez que a diferença de dureza entre os materiais é ampla.

A Figura 4.5 exibe as 24 bombas montadas a partir dos corpos de prova, apresentados na Figura 4.1, que passaram pelo mesmo procedimento de montagem e demais componentes para seu funcionamento, ou seja, suas únicas diferenças são o par estator e rotor.

Figura 4.5 – Bombas montadas com os respectivos corpos de prova



As bombas foram identificadas com os números de seus respectivos corpos de prova e avaliadas individualmente na banca de testes experimentais.

4.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DO FLUIDO DE TRABALHO (COLORANTE)

O colorante passou por avaliação de massa específica e viscosidade, propriedades que influenciam diretamente no desempenho da BCP.

Foram realizadas três medidas num picnômetro de 100 ml, pela norma ABNT NBR 5829 (2014), para determinar a massa específica do colorante. Calculada a média, obteve-se o valor de 1,4365 g/ml, que representa 3,75% de diferença em relação ao valor informado na FIS PQ do produto. Estes valores estão dispostos na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Massa específica do colorante

<i>Medida</i>	<i>Massa específica (g/ml)</i>	<i>Diferença (%)</i>
1	1,4318	3,41%
2	1,4384	3,88%
3	1,4392	3,95%
Média	1,4365	3,75%

A FISPQ do respectivo colorante informa que sua viscosidade varia é de aproximadamente 3 *Pa. s* ou 3000 *cP*.

4.3 RESISTÊNCIA DOS POLÍMEROS AO FLUIDO DE TRABALHO

Os polímeros estudados nos rotores, PA6 e PEEK, e no estator, FKM, passaram por avaliação de resistência ao fluido de trabalho (colorante tintométrico) que experimentam contato ou imersão. O teste foi realizado de acordo com a norma ASTM D471 e deteve-se na questão da absorção do fluido pelo material, através da variação de massa inicial e final, após imersão de 70 horas. Cada material teve um corpo de prova avaliado e seus resultados são apresentados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Absorção de fluido (colorante) pelos polímeros

<i>Componente</i>	<i>Material</i>	<i>Massa inicial (g)</i>	<i>Massa final (g)</i>	<i>Absorção após 70 horas (%)</i>
Estator	FKM	12,982	13,002	0,15%
Rotor	PA6	2,512	2,514	0,08%
Rotor	PEEK	2,382	2,383	0,04%

A maior variação foi apontada pelo FKM, material do estator, que atingiu 0,15% de absorção de fluido. Entretanto, o valor é muito baixo, apresentando, os três materiais, ótima resistência ao colorante tintométrico deste estudo. Estes resultados ainda serão utilizados na avaliação do desgaste, uma vez que alteram a massa final do componente e devem ser acrescidos na massa e volume de desgaste do material.

4.4 AVALIAÇÕES DAS BOMBAS NO EQUIPAMENTO DE TESTES

Conforme a metodologia descreve, foram realizadas medidas, no equipamento desenvolvido para os testes experimentais, que possibilitaram avaliar o volume de desgaste dos rotores e estatores, gerar as curvas características das bombas e calcular a eficiência energética.

4.4.1 Desgaste de rotores e estatores

Os rotores e estatores tiveram suas massas iniciais avaliadas antes da montagem de cada bomba e seus resultados foram dispostos anteriormente. Ao final do ciclo de teste de cada BCP, que totaliza um milhão de revoluções em aproximadamente 42 horas de uso, com velocidade angular de 400 *RPM*, as mesmas foram desmontadas para medição da massa final de cada rotor e estator.

A partir da variação de massa de cada componente, calculou-se o volume de desgaste, através da divisão pela massa específica de cada material, apresentada na Tabela 4.8. Entretanto, para os materiais poliméricos, os valores obtidos no teste de absorção de colorante, anteriormente apresentados, foram considerados, uma vez que este fenômeno aumenta a massa final destes componentes e, conseqüentemente, deve ser acrescido na diferença da massa para que o cálculo do desgaste seja realizado. Os resultados de desgaste são apresentados nas Tabelas 4.9, 4.10, 4.11 e 4.12.

Tabela 4.8 – Massa específica dos materiais utilizados no rotor e estator

Componente	Material	Massa específica (kg/m³)
Estator	FKM	1835
Rotor	SAE 12L14	7860
Rotor	PA6	1140
Rotor	PEEK	1310
Rotor	Liga 6082	2700

Os rotores de aço SAE 12L14 revestidos de cromo experimentaram volume de desgaste baixíssimo, como era esperado, uma vez que este revestimento de alta dureza é tradicionalmente usado com bom desempenho em bombas de cavidades progressivas aplicadas a trabalhos severos. O desgaste médio para os corpos de prova foi de 0,233 *mm*³, equivalente a 0,01%. Os estatores que formam par com estes rotores apresentaram volume de desgaste médio de

$10,469 \text{ mm}^3$. Este resultado representa 0,10% de desgaste, assim como nos rotores, uma mudança irrelevante.

Vale lembrar que o mecanismo de desgaste mais influente numa BCP é a abrasão por deformação plástica, apresentada anteriormente na Equação 2.3, e que no teste experimental em questão varia em função da dureza do material avaliado, já que as demais propriedades do fluido e velocidade angular da bomba são mantidas constantes.

Tabela 4.9 – Desgaste dos pares, rotor-estator, SAE 12L14 e FKM

Corpo de prova	Rotor SAE 12L14 cromado				Estator FKM			
	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Absorção (%)	Desgaste (mm^3)	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Absorção (%)	Desgaste (mm^3)
1	12,739	12,738	n/a	0,127	19,281	19,268	0,15%	23,272
2	13,477	13,476	n/a	0,127	19,298	19,320	0,15%	4,213
3	12,898	12,895	n/a	0,382	19,428	19,451	0,15%	3,777
4	13,005	13,005	n/a	0,000	19,432	19,430	0,15%	17,404
5	12,874	12,872	n/a	0,254	19,455	19,474	0,15%	5,979
6	12,896	12,892	n/a	0,509	19,464	19,479	0,15%	8,167
Média				0,233				10,469

Tabela 4.10 – Desgaste dos pares, rotor-estator, Poliamida 6 e FKM

Corpo de prova	Rotor Poliamida 6				Estator FKM			
	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Absorção (%)	Desgaste (mm^3)	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Absorção (%)	Desgaste (mm^3)
7	2,538	2,525	0,08%	13,176	19,989	20,013	0,15%	3,703
8	2,504	2,496	0,08%	8,766	19,335	19,355	0,15%	5,334
9	2,52	2,495	0,08%	23,690	19,398	19,412	0,15%	8,656
10	2,513	2,486	0,08%	25,439	19,438	19,449	0,15%	10,325
11	2,505	2,492	0,08%	13,153	19,430	19,447	0,15%	7,048
12	2,528	2,504	0,08%	22,818	20,012	20,034	0,15%	4,812
Média				17,840				6,646

Os resultados de volume de desgaste para os rotores de Poliamida 6 foram os maiores entre os quatro materiais, chegando ao valor médio de $17,840 \text{ mm}^3$. Contudo, o nível de desgaste ainda é baixo, representando 0,81%. O aumento do volume de desgaste se dá em função de apresentar a menor dureza, entre os materiais avaliados, uma vez que essa propriedade é a mais importante para resistir a abrasão por deformação plástica. Já os respectivos estatores destes corpos de prova, obtiveram o menor desgaste, $6,646 \text{ mm}^3$ em média, que representa 0,06%. Esta redução em relação aos demais ocorre pela diferença de dureza e módulo de elasticidade do rotor, dado que o material do estator não varia.

Com menor dureza, o rotor sofre maior desgaste, este aumento traduz-se em redução do volume de desgaste do estator, pela superfície do rotor ter absorvido esta parcela de energia em sua fratura e não transmitindo-a contra a peça. Outra influência no desgaste do estator é observada com a variação do módulo de elasticidade do rotor. A redução desta propriedade mecânica faz com que o rotor experimente maior deformação, no regime elástico, e propague menores cargas na interface de contato com o estator. Desta forma, o estator sofre menor pressão das partículas sólidas presentes no fluido de trabalho e menor abrasão de sua superfície (WHITTAKER, 2003).

Tabela 4.11 – Desgaste dos pares, rotor-estator, PEEK e FKM

Corpo de prova	Rotor PEEK				Estator FKM			
	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Absorção (%)	Desgaste (mm^3)	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Absorção (%)	Desgaste (mm^3)
13	2,412	2,406	0,04%	5,353	19,445	19,466	0,15%	4,881
14	2,348	2,338	0,04%	8,386	19,286	19,312	0,15%	2,023
15	2,386	2,379	0,04%	6,108	19,320	19,318	0,15%	17,310
16	2,388	2,385	0,04%	3,055	19,465	19,493	0,15%	1,083
17	2,403	2,399	0,04%	3,824	19,415	19,419	0,15%	14,120
18	2,366	2,360	0,04%	5,338	19,448	19,457	0,15%	11,423
Média				5,344				8,473

Os rotores de PEEK tiveram resultados ligeiramente melhores que os de PA6 por apresentarem maior dureza, embora pequena diferença, mas principalmente pelo menor módulo de elasticidade que, como explicado anteriormente, absorve parte da energia que seria conduzida ao desgaste da superfície. A média de desgaste foi de $5,344 mm^3$ ou 0,29%. É importante ressaltar que menor módulo de elasticidade, embora colabore para redução de desgaste do par rotor-estator, possui efeito negativo para o desempenho da BCP, pois reduz a eficiência de sua linha de selo e diminui sua eficiência volumétrica.

Os estatores relativos aos rotores de PEEK tiveram volume de desgaste médio de $8,473 mm^3$, que equivale a 0,08%. Este pequeno aumento é consequência da redução do desgaste do rotor, em função de suas propriedades mecânicas influentes na interface de contato, como já foi explicado.

Seguindo a mesma analogia, é possível entender o comportamento dos rotores de alumínio Liga 6082 e seus respectivos estatores, já que estes rotores apresentam dureza e módulo de elasticidade intermediários aos rotores de aço cromado e PEEK e, consequentemente, resultados neste mesmo intervalo. O volume de desgaste médio dos rotores

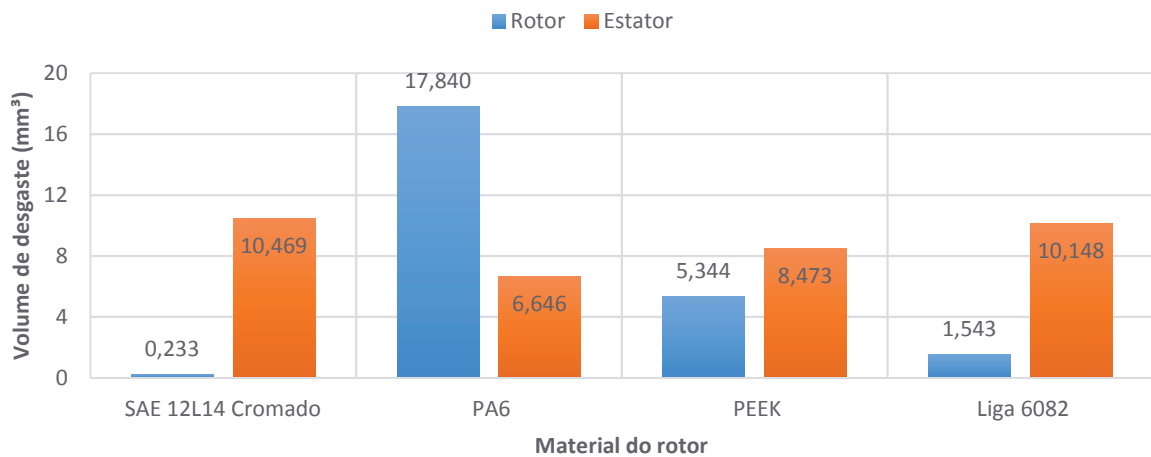
foi de $1,543 \text{ mm}^3$, que representa 0,09%, e dos estatores $10,148 \text{ mm}^3$, que corresponde a 0,10%.

A Figura 4.6 apresenta o resultado médio do volume de desgaste de cada material. Nela é possível perceber o comportamento inverso do desgaste do rotor em relação ao estator em função das propriedades mecânicas já explanadas, ou seja, quanto maior o desgaste do rotor, menor do estator e vice-versa. Contudo, este comportamento não é linear.

Tabela 4.12 – Desgaste dos pares, rotor-estator, Liga 6082 e FKM

Corpo de prova	Rotor Liga 6082				Estator FKM			
	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Absorção (%)	Desgaste (mm^3)	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Absorção (%)	Desgaste (mm^3)
19	4,486	4,481	n/a	1,852	19,435	19,445	0,15%	10,867
20	4,487	4,486	n/a	0,370	19,266	19,283	0,15%	6,911
21	4,478	4,475	n/a	1,111	19,474	19,496	0,15%	4,361
22	4,476	4,472	n/a	1,481	19,437	19,428	0,15%	21,223
23	4,485	4,477	n/a	2,963	19,030	19,033	0,15%	14,342
24	4,483	4,479	n/a	1,481	19,371	19,395	0,15%	3,184
Média				1,543				10,148

Figura 4.6 – Desgaste médio de rotores e estatores em função do material do rotor



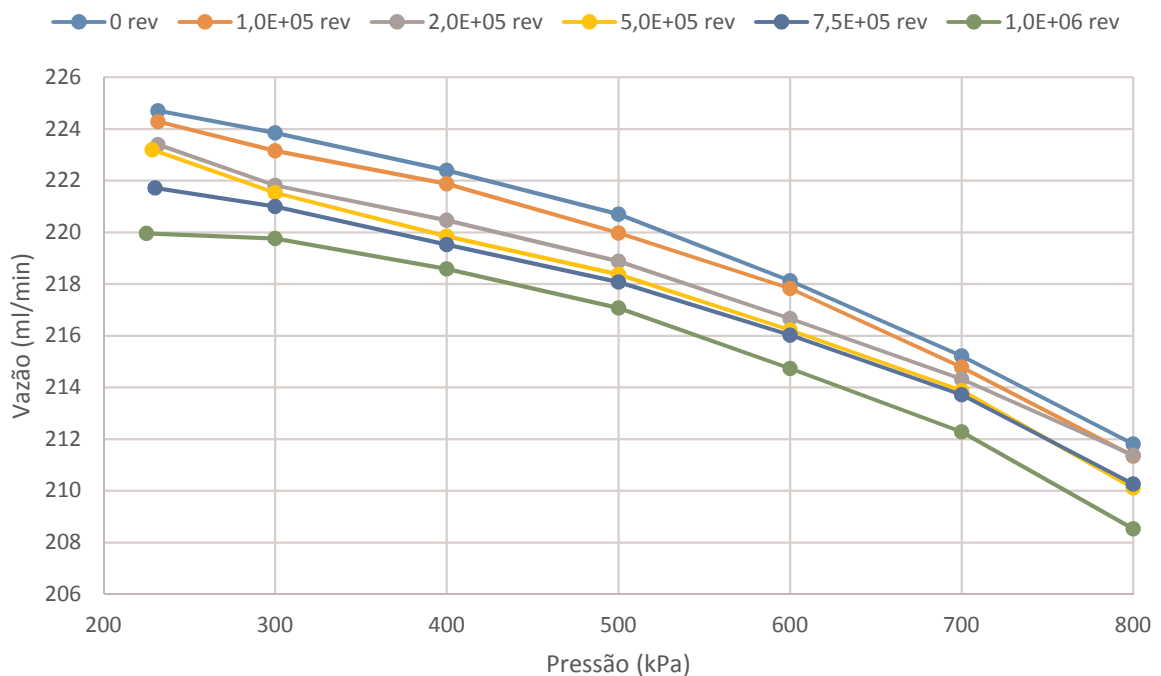
4.4.2 Curvas características das BCPs

A partir da coleta de dados de vazão e pressão, foram construídas as curvas características de cada tipo de bomba, em diferentes estados de uso, possibilitando avaliar seu comportamento ao longo da vida útil. As mesmas estão apresentadas nas Figuras 4.7, 4.8, 4.9 e

4.10, enquanto na Figura 4.11 é apresentada a comparação entre os materiais através da curva característica média de cada um.

Para as BCPs montadas com rotores de aço SAE 12L14 cromados verifica-se que a bomba diminui sua vazão ao longo da utilização, ou seja, quanto mais revoluções rodadas, menor o volume final dosado. Para a pressão de 300 kPa, por exemplo, a bomba nova entregava uma vazão de 224 ml/min , enquanto após um milhão de revoluções, aproximadamente 219 ml/min , correspondendo a uma redução de 2,2%. Este comportamento pode ser observado na Figura 4.7 a partir das diferentes curvas de uso.

Figura 4.7 – Curva característica da BCP com rotor de aço SAE 12L14 cromado



As BCPs montadas com rotor de PA6 não apresentaram uma tendência de desempenho em função de seu uso. A vazão da bomba nova foi intermediária, apontando 183 ml/min para a pressão de 300 kPa, enquanto as vazões máxima e mínima foram observadas com 500 mil revoluções, 184 ml/min , e 100 mil revoluções, $182,3 \text{ ml/min}$, respectivamente. Entretanto, nota-se menor variação, apresentando-se em 0,9% para esta pressão. As curvas resultantes estão dispostas na Figura 4.8.

Assim como as BCPs com rotores de aço cromado, as concebidas com rotores de PEEK também retratam uma tendência, mas exatamente oposta. A medida que a bomba é utilizada sua vazão aumenta. A maior vazão foi medida na última tomada da bomba, com 1 milhão de

revoluções (ou aproximadamente 42h de uso), registrando $194,3 \text{ ml/min}$, e a menor, $192,2 \text{ ml/min}$, com a bomba nova, ambas para pressão de 300 kPa. A variação resultante foi de 1,1% e as curvas são exibidas na Figura 4.9.

Figura 4.8 – Curva característica da BCP com rotor de Poliamida 6

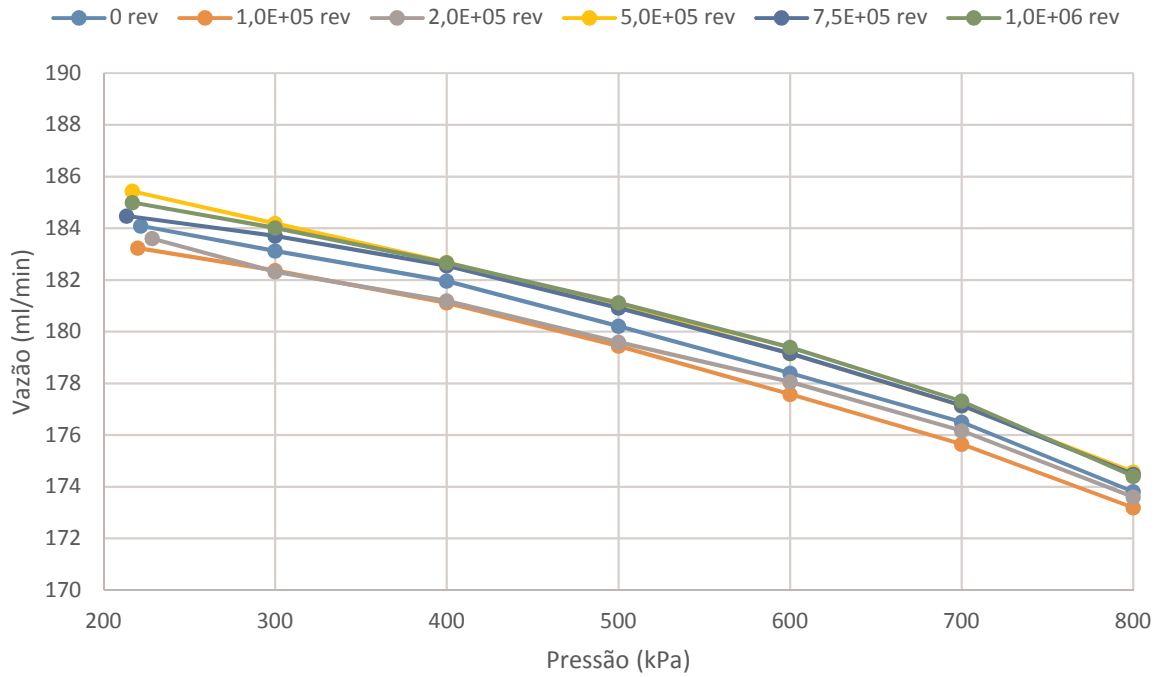


Figura 4.9 – Curva característica da BCP com rotor de PEEK

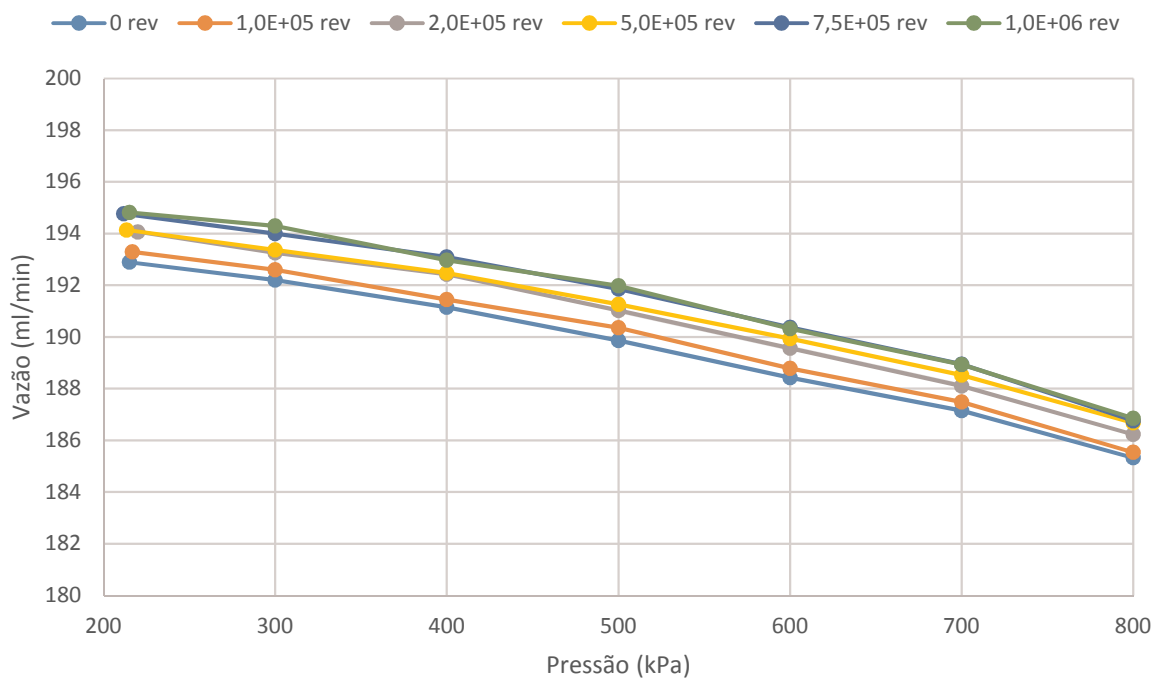
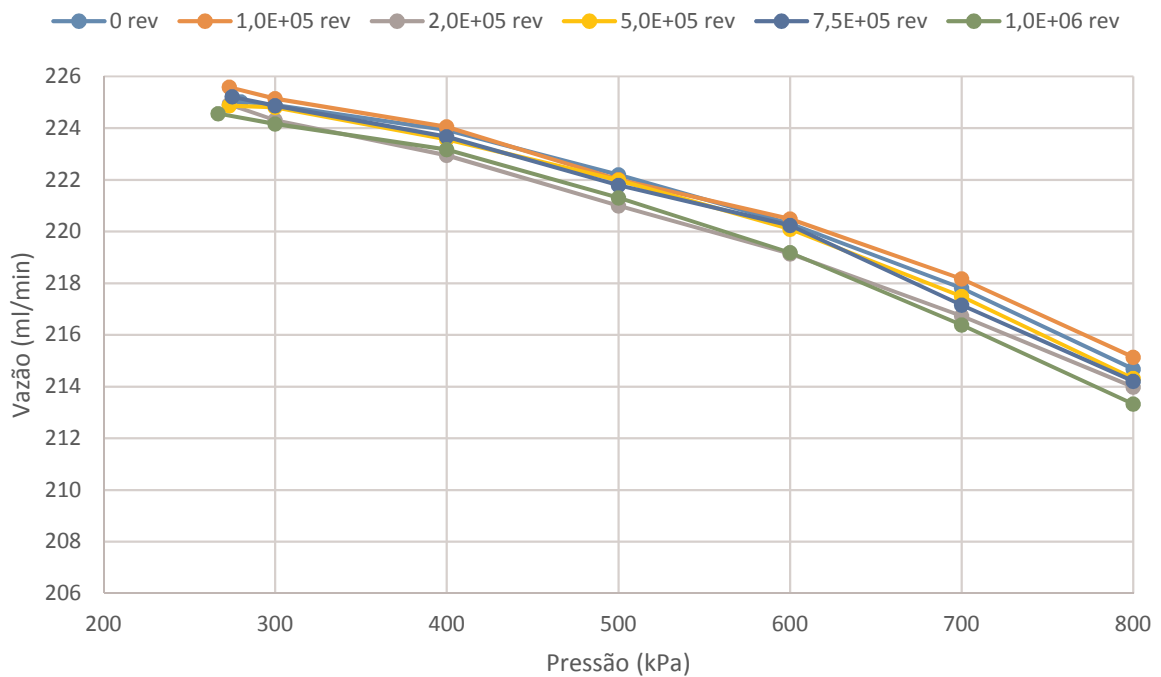


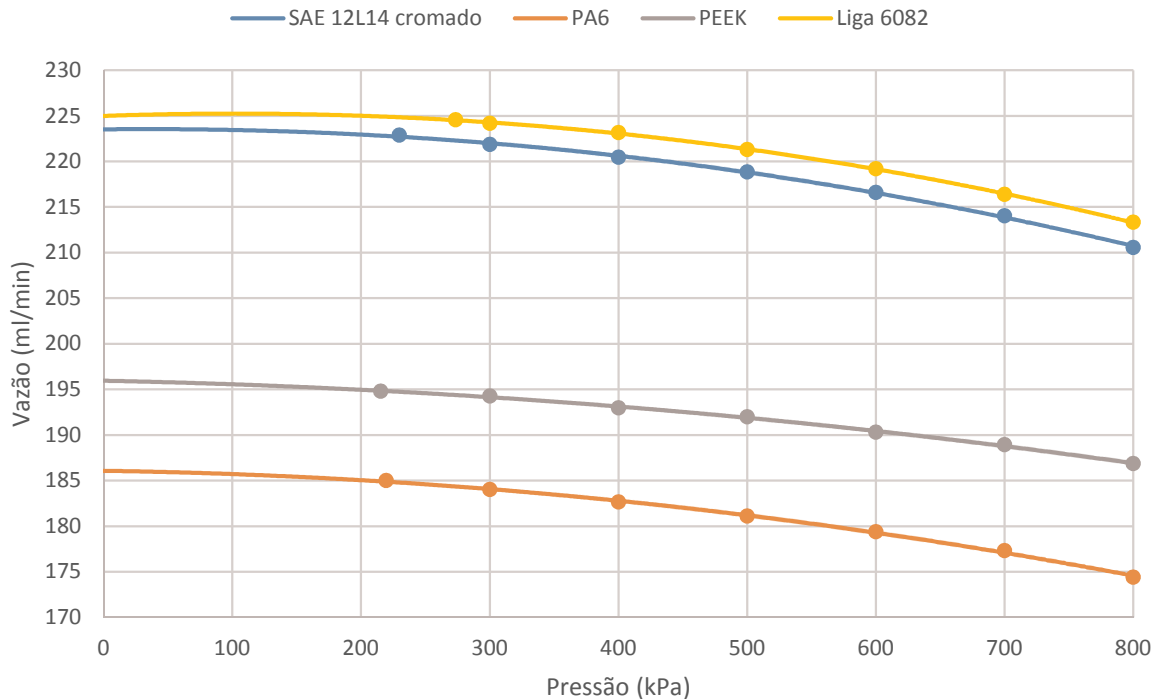
Figura 4.10 – Curva característica da BCP com rotor de alumínio Liga 6082



Similarmente às bombas com rotor de PEEK, não houve tendência no comportamento para as bombas montadas com rotores de alumínio Liga 6082, como pode ser visto na Figura 4.10. A bomba apresentou maior vazão para a condição de 100 mil revoluções, com o valor de $225,1 \text{ ml/min}$, e menor quando completou 1 milhão de revoluções, apontando $224,2 \text{ ml/min}$. Apesar de mostrar comportamento não ordenado, de crescimento ou redução da vazão ao longo da sua utilização, este tipo de BCP registrou a variação de 0,4%, a menor entre os quatro materiais.

Finalmente, foram tomadas as médias de todos os pontos de uso das BCPs, desde novas até 1 milhão de ciclos, de modo a planificar seus desempenhos em um único gráfico. Sendo assim, foi possível verificar, através da Figura 4.11, a influência dos materiais na curva característica da BCP em estudo, ou seja, a vazão entregue em relação a pressão na linha de fluido.

Figura 4.11 – Curva característica média das BCPs montadas com cada material de rotor



A interferência de montagem entre o estator (elastomérico) e o rotor, responsável pela estanqueidade da bomba, causa deformação elástica nos mesmos. Trivialmente, o estator, por ser um elastômero, absorve a maior parte desta deformação, e o rotor uma pequena parcela. Nos rotores de alto módulo de elasticidade, como o aço, por exemplo, essa deformação pode ser considerada nula, dada a magnitude da diferença desta propriedade no par. Estes valores são apresentados na Tabela 4.13.

Observou-se que os rotores poliméricos apresentaram menor desempenho em relação ao rotor original, de aço cromado, e o rotor de alumínio, melhores. No caso dos poliméricos, PA6 e PEEK, admite-se que a redução é decorrente do seu baixo módulo de elasticidade, aproximadamente 98% menor que do aço. Desta forma, a deflexão do rotor, além de reduzir a eficiência da linha de selo, o que causa maior escorregamento (retorno do fluido), reduz também o volume da cavidade preenchida pelo colorante, que se localiza progressivamente do lado oposto ao longo da interface de contato do estator e rotor, e, conseqüentemente, reduz o volume de fluido deslocado, afetando a vazão.

Tabela 4.13 – Módulo de elasticidade dos materiais do rotor e estator

<i>Componente</i>	<i>Material</i>	<i>Módulo de elasticidade (MPa)</i>
Estator	FKM	3
Rotor	SAE 12L14	200000
Rotor	PA6	2800
Rotor	PEEK	4200
Rotor	Liga 6082	70000

Os rotores de alumínio obtiveram bons resultados, superando levemente os originais de aço cromado. Entende-se que a deformação do rotor de alumínio pode ser desprezada, assim como a do aço, em virtude de seu alto módulo de elasticidade. Portanto, a pequena diferença de desempenho entre eles é preponderantemente de controle dimensional e acabamento superficial. A metrologia destes corpos de prova, Tabelas 4.1 e 4.4, apontou que os rotores de alumínio registraram uma leve diferença em relação aos de aço, diâmetro menor e excentricidade maior. Esta variação aumenta o volume nominal de fluido que habita as cavidades e é deslocado em uma revolução da bomba. Logo, a pequena variação dimensional explica o discreto aumento de vazão da curva característica.

Nos trabalhos mencionados na revisão bibliográfica não foram encontrados resultados registrados ao longo do tempo de vida do equipamento, ou seja, influenciados pelo desgaste do par estator-rotor, como realizado no presente estudo.

4.4.3 Consumo elétrico das BCPs

As Figuras 4.12 a 4.16 apresentam os resultados obtidos para a potência elétrica de cada bomba, em função da pressão, ao longo do número de revoluções total de uso. A potência total é diretamente proporcional ao torque consumido pela bomba para executar o trabalho no fluido. Portanto, ilustra o comportamento da interface de contato estator-rotor e, conseqüentemente, é influenciada pelo material deste componente.

As bombas com rotores de aço cromado apontaram boa estabilidade na potência total em relação ao total de revoluções de uso, registrando variações que não chegaram a 3% para todas as faixas de pressão. Quanto ao diferencial de pressão, há aumento do consumo em decorrência do aumento de torque para o bombeamento do colorante. Para estes rotores, o aumento foi de até 8%, com valores variando de 10,25 W a 11,00 W, aproximadamente. A Figura 4.12 apresenta estes resultados.

Os rotores de PA6, em suas respectivas bombas, apresentados na Figura 4.13, também registraram variação de até 3% na potência ao longo do uso. Já para o aumento de pressão, de 300 a 800 kPa, apresentaram incrementos menores de 6%, com resultados que vão de 10,2 W a 10,9 W. Percebe-se uma discreta melhora em relação ao aço.

Para as BCPs com rotores de PEEK os resultados experimentaram maior instabilidade, conforme Figura 4.14. Estas bombas, quando novas, exigiram maior potência, com pico de 11,75 W, que diminuiu expressivamente após 100 mil revoluções e, logo após, suavemente até alcançar 1 milhão de ciclos. Esta redução beira os 6%. Em relação ao aumento de pressão, o acréscimo de potência foi de até 9%. Ambas as variações apresentam pior desempenho em relação às bombas originais, com rotores de aço cromado.

As bombas equipadas com rotores de liga de alumínio obtiveram boa estabilidade de potência. Similarmente às de aço cromado e PA6, apresentaram variação de até 3% ao longo da vida útil, de 11,00 W a 10,75 W, e incremento de no máximo 7% através do aumento de pressão. Os resultados são ilustrados na Figura 4.15.

Embora as diferenças de potência entre os quatro materiais sejam pequenas, menores que 1 W, pode-se confiar nos resultados medidos, uma vez que a exatidão conjunta, das medidas de corrente e tensão, dos dois multímetros é de aproximadamente $\pm 0,1$ W.

Figura 4.12 – Potência total da BCP com rotor de SAE 12L14 cromado

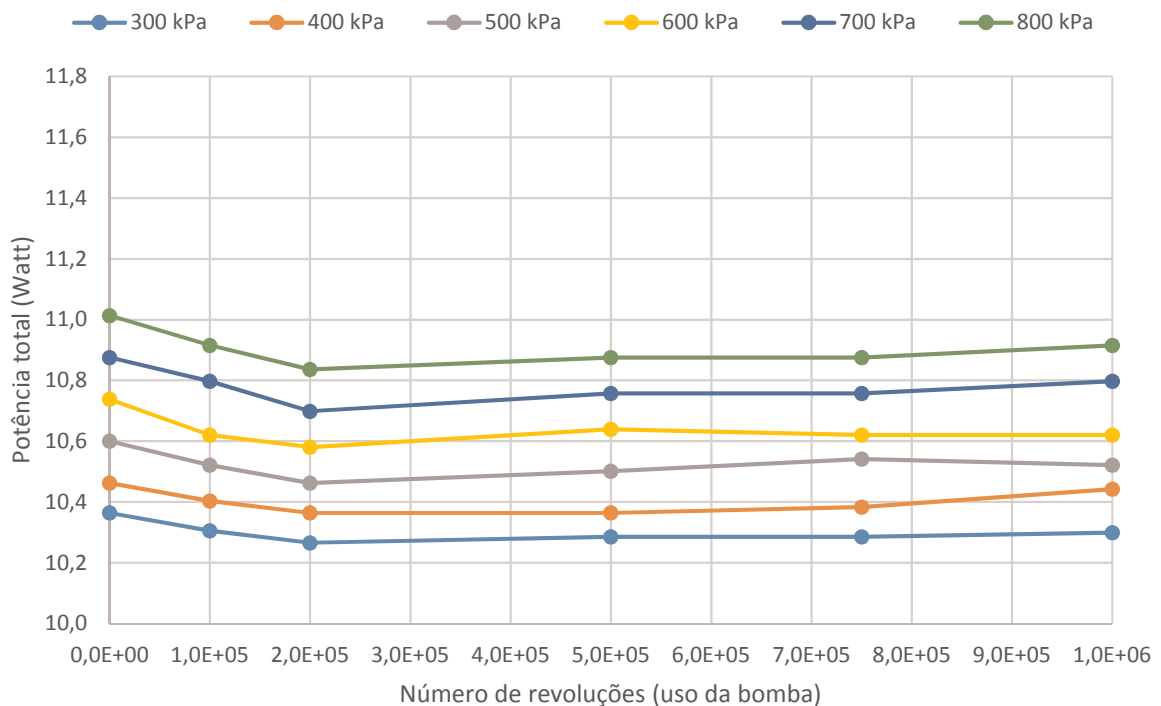


Figura 4.13 – Potência total da BCP com rotor de Poliamida 6 (PA6)

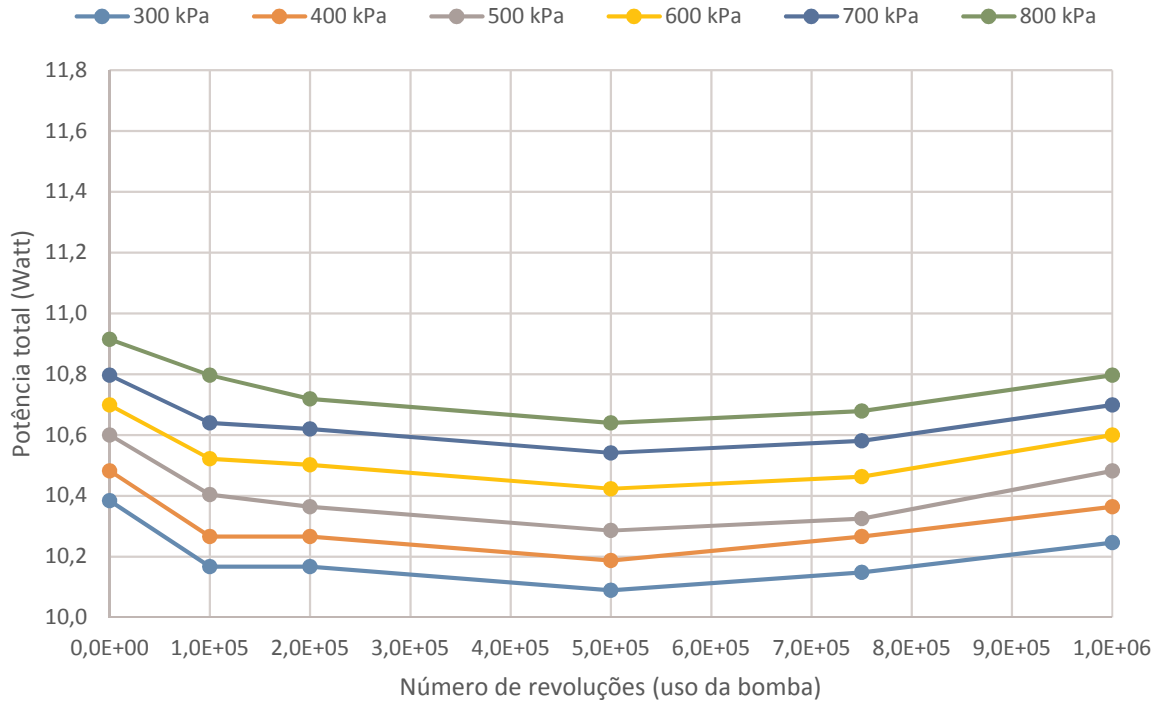


Figura 4.14 – Potência total da BCP com rotor de PEEK

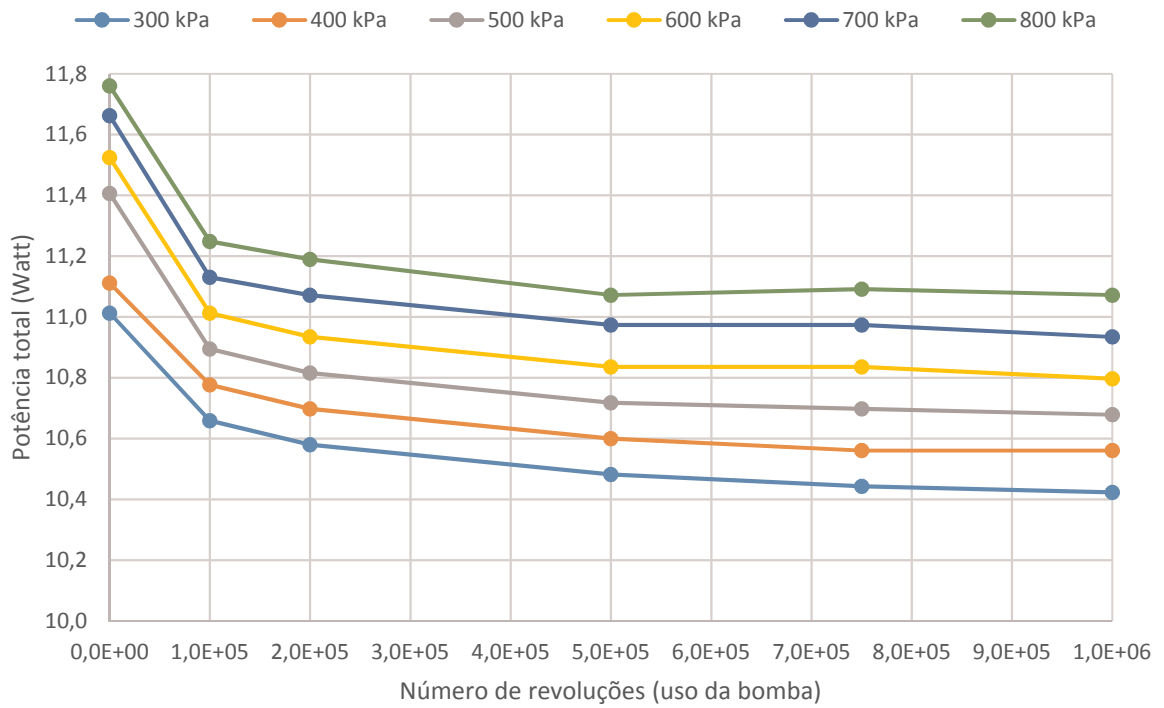
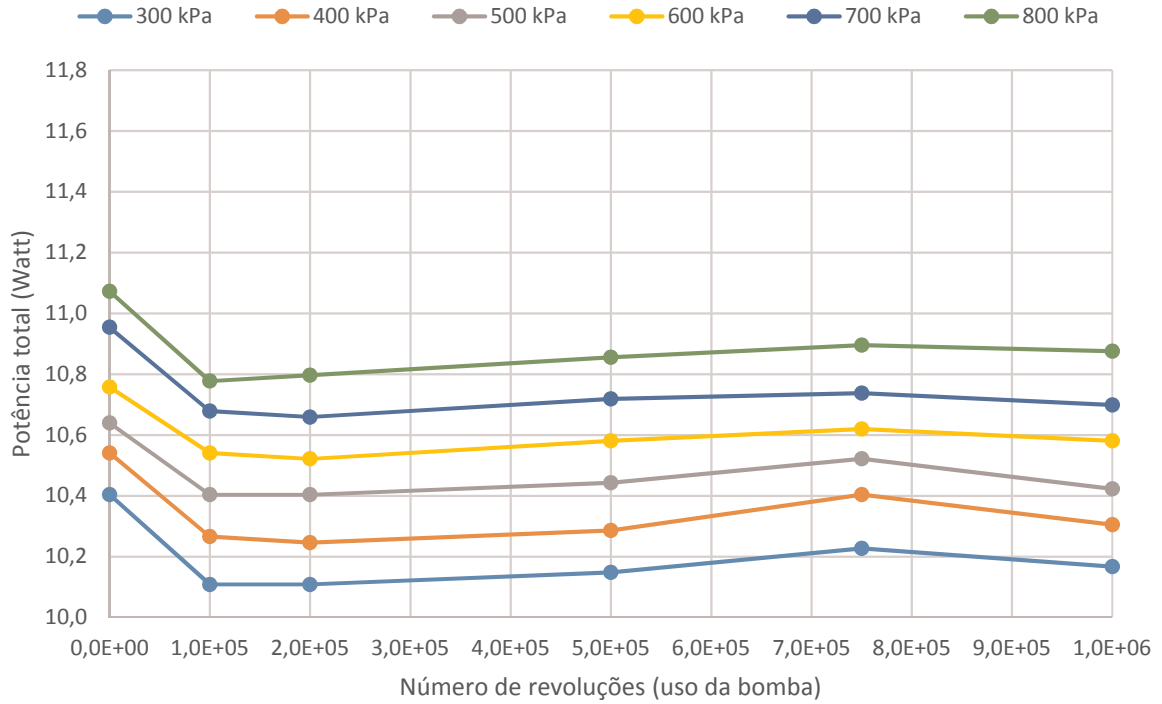
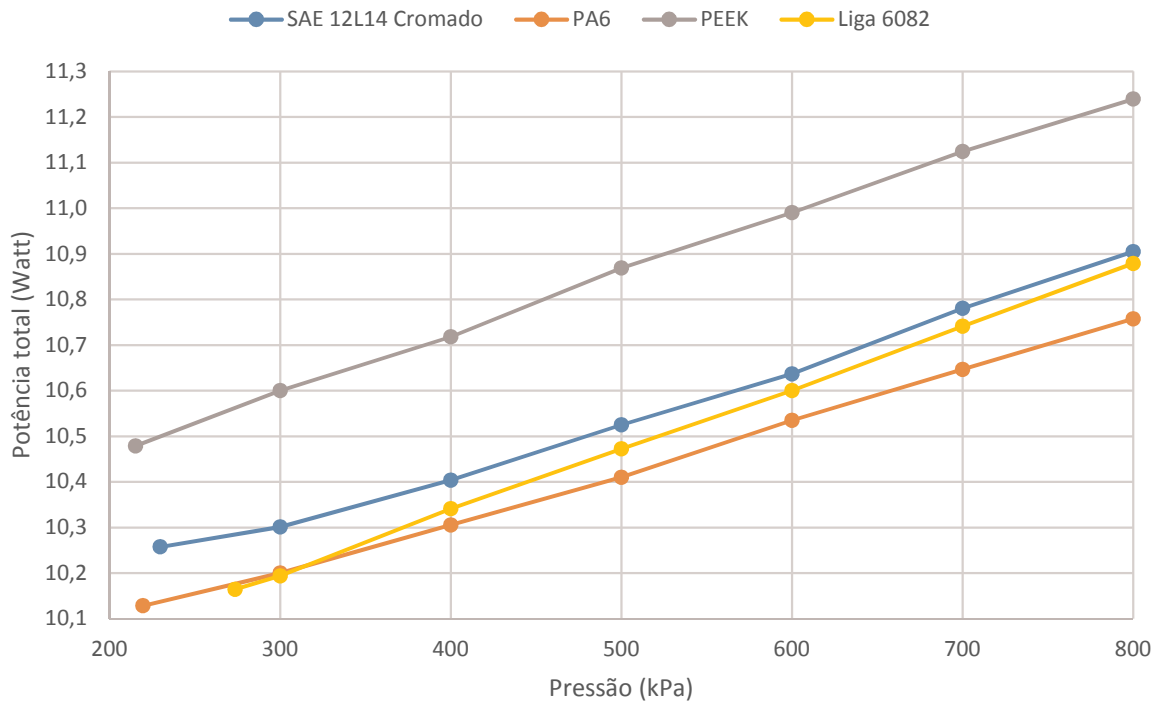


Figura 4.15 – Potência total da BCP com rotor de Alumínio Liga 6082



Como meio de facilitar a interpretação, foram tomadas médias de comportamento do longo do total de revoluções de cada tipo de bomba e dispostas no gráfico da Figura 4.16.

Figura 4.16 – Potência total média das BCPs montadas com cada material de rotor

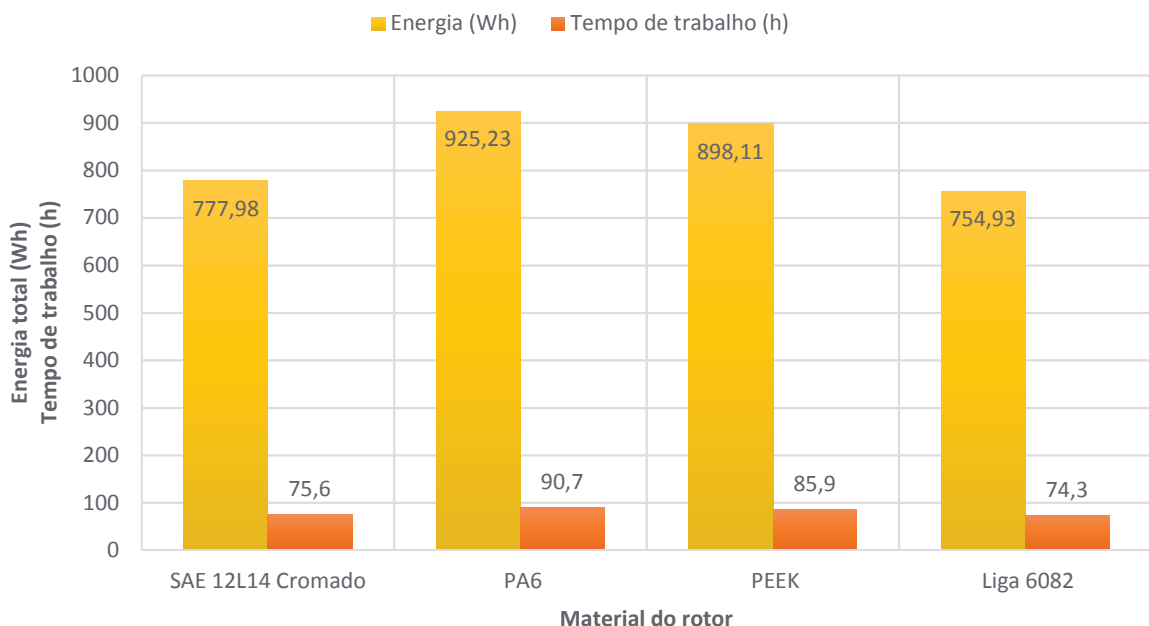


Observa-se, mais claramente, que a maior exigência de potência provém das bombas com rotores de PEEK, que reduz na seguinte ordem: rotores de SAE 12L14 cromado, alumínio Liga 6082 e PA6, que registrou a menor demanda.

No presente estudo a potência não foi dividida em suas diferentes categorias, como realizado por Azevedo (2012) e Olivet (2002). Contudo, a potência hidráulica e perda de potência por escorregamento podem ser obtidas através da potência total e eficiência volumétrica no respectivo ponto. Observando a Figura 2.22, na revisão bibliográfica, pode-se perceber que a soma de W_H e W_S resulta numa curva aproximada por uma reta crescente, que representa a potência total, similar às curvas registradas para os diferentes materiais avaliados neste trabalho, mostradas na Figura 4.16. Já a potência de compressão da fase gasosa não poderia ser avaliada por não ter sido considerada na metodologia e, conseqüentemente, não possui os dados de concentração de gás no colorante utilizado.

Para realizar a comparação de energia consumida por cada tipo de bomba, foram extraídos os volumes de dosagem e suas respectivas potências em cada ponto de avaliação (100 mil revoluções, 200 mil revoluções, etc.) e ao final de 1 milhão de revoluções, foram extrapolados os resultados de vazão e potência até atingir 1000 litros e obter o tempo total de trabalho para este volume. Portanto, estes resultados consideram a variação de potência e vazão da bomba ao longo de sua utilização. A Figura 4.17 apresenta os resultados.

Figura 4.17 – Energia e tempo consumidos para dosagem de 1000 litros de colorante



Portanto, quanto ao consumo elétrico, o rotor de alumínio obteve o melhor resultado, ao registrar 755 *Wh* para dosar 1000 litros de colorante, enquanto o rotor de PA6 obteve o pior desempenho, ao registrar 925 *Wh* para o mesmo volume. Isso ocorre porque este polímero apresenta eficiência volumétrica inferior ao rotor de alumínio. Desta forma, entrega menor vazão para uma mesma potência, ou seja, necessita mais tempo de uso para chegar ao mesmo volume final e, conseqüentemente, mais energia elétrica.

4.5 PROCESSO DE USINAGEM DOS ROTORES

O processo de usinagem dos rotores foi avaliado segundo seu consumo de energia elétrica e de insumos. Para cada um dos quatro materiais usinados foi avaliado o consumo elétrico de cada ferramenta ou equipamento integrado.

Todas as ferramentas ou equipamentos do torno, com exceção da lubrificação do barramento, fonte 24V, compressor de ar e computador, sofrem influência do material usinado. Estes são equipamentos auxiliares essenciais e independente da operação de usinagem, necessitam estar ligados para funcionamento do torno CNC utilizado.

Os rotores de aço registram maior potência para movimentação dos eixos e ferramentas de usinagem, devido ao maior esforço de corte comparado ao alumínio e, principalmente, aos dois polímeros. Além disso, a usinagem dos rotores de PA6 não necessitou fluido de corte, no torno em questão, o que eliminou esta parcela de energia de seu consumo total, além da menor geração de efluente líquido.

Os resultados individuais estão dispostos nas Figuras 4.18 a 4.21 e a Figura 4.22 apresenta a comparação detalhada do consumo total de energia para cada material.

Figura 4.18 – Potência e energia elétrica de usinagem do rotor de aço SAE 12L14

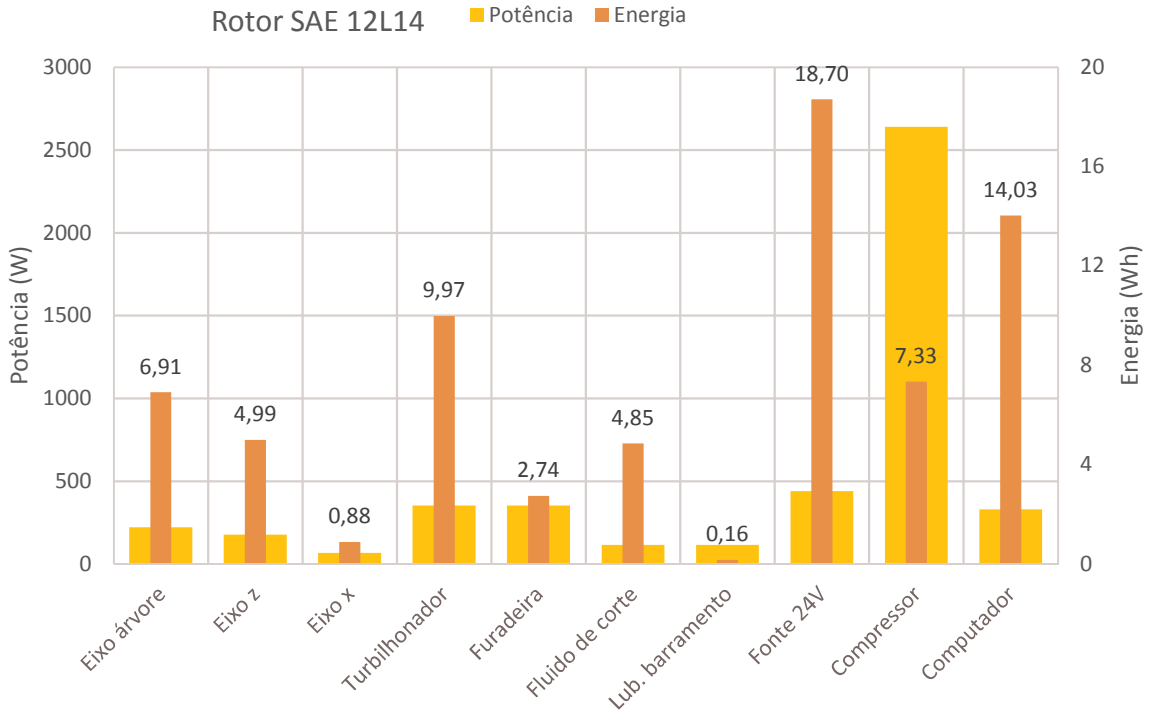


Figura 4.19 – Potência e energia elétrica de usinagem do rotor de PA6

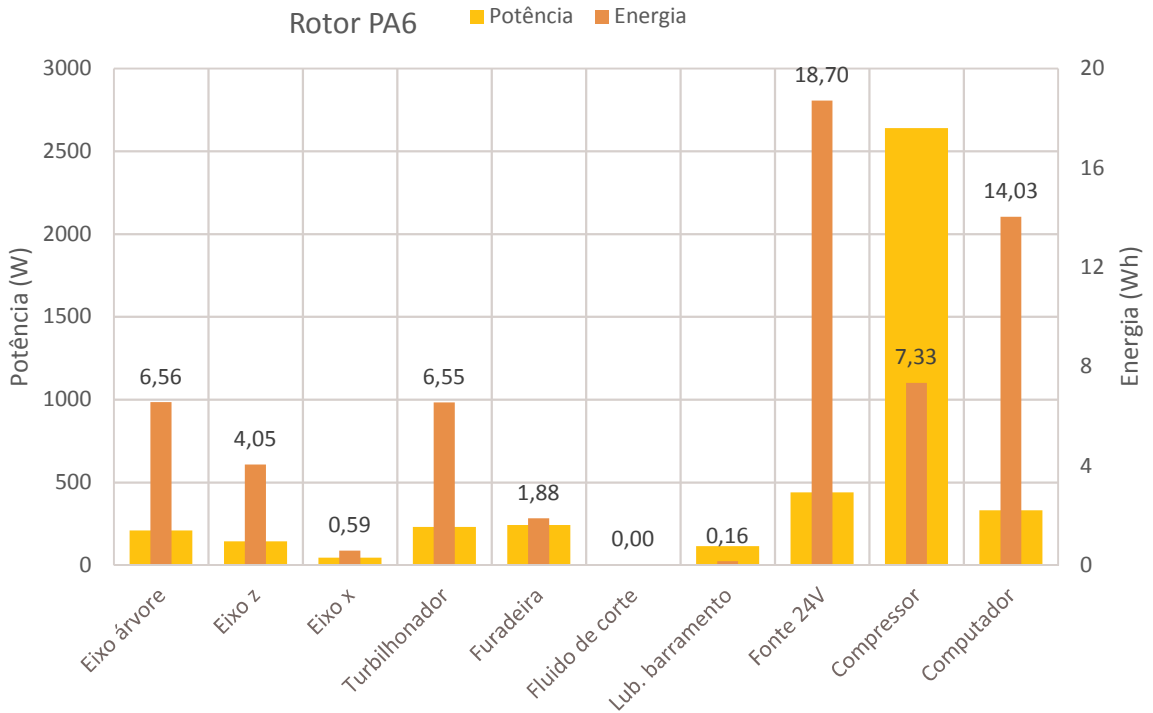


Figura 4.20 – Potência e energia elétrica de usinagem do rotor de PEEK

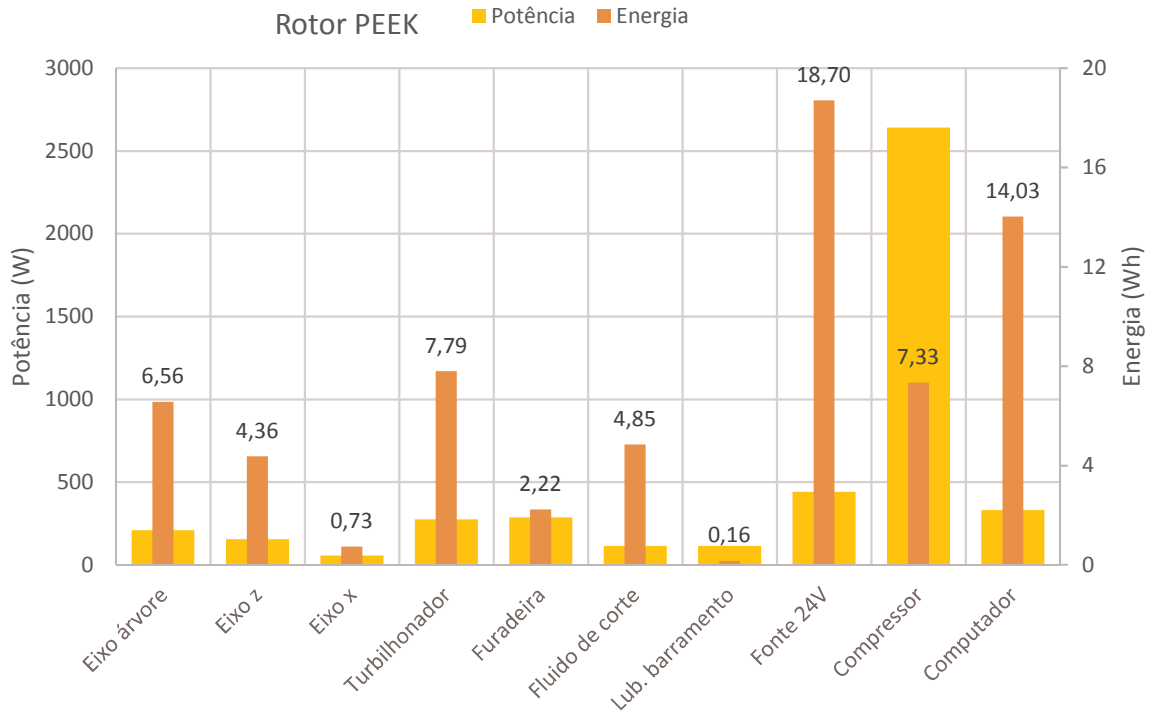
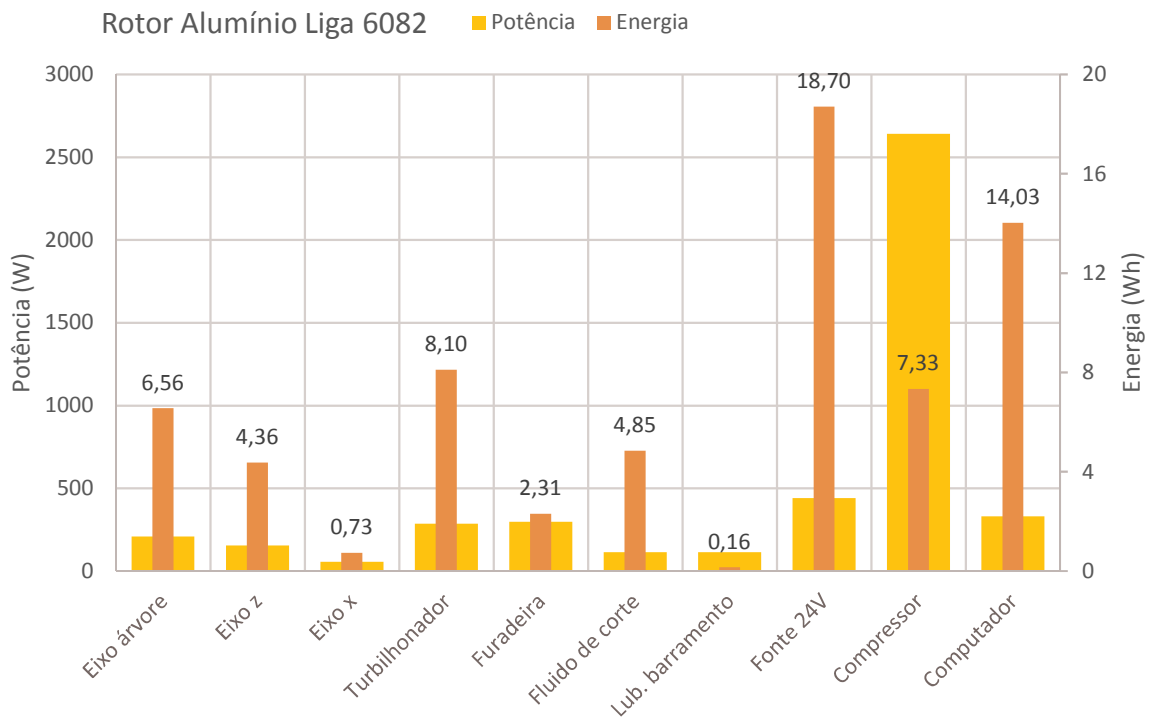


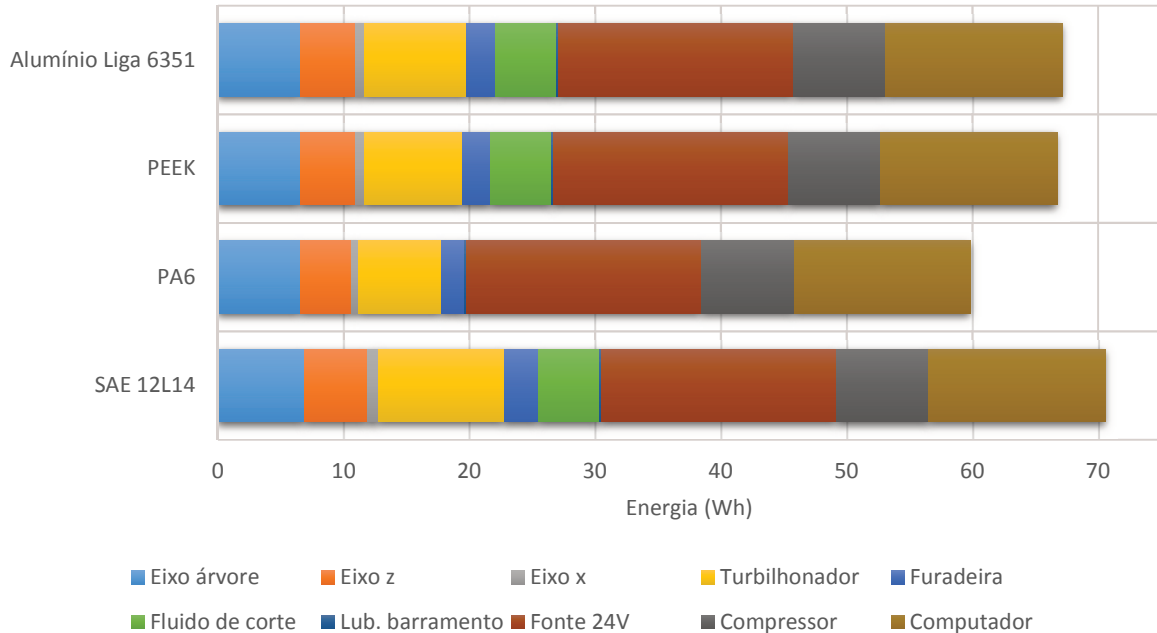
Figura 4.21 – Potência e energia elétrica de usinagem do rotor de alumínio Liga 6082



Através dos resultados é possível perceber que a ferramenta mais sensível ao tipo de material usinado é o turbilhonador. Este comportamento era esperado, uma vez que esta é a

principal operação de usinagem no rotor, ao desbastar seu diâmetro bruto de 9,525 mm até 6,8 mm.

Figura 4.22 – Comparação do consumo de energia na usinagem dos diferentes materiais



A partir da Figura 4.22 verifica-se o consumo de energia elétrica total da usinagem de cada tipo de rotor. O menor consumo foi do rotor de PA6 registrando 59,84 *Wh*, seguido do PEEK com 66,73 *Wh*, alumínio Liga 6082 com 67,13 *Wh* e, finalmente, o rotor de aço SAE 12L14 que alcançou 70,55 *Wh*.

4.6 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A seguir serão apresentados os resultados das avaliações de eficiência energética do processo de usinagem dos rotores e do funcionamento, na bancada experimental, das bombas que os utilizam.

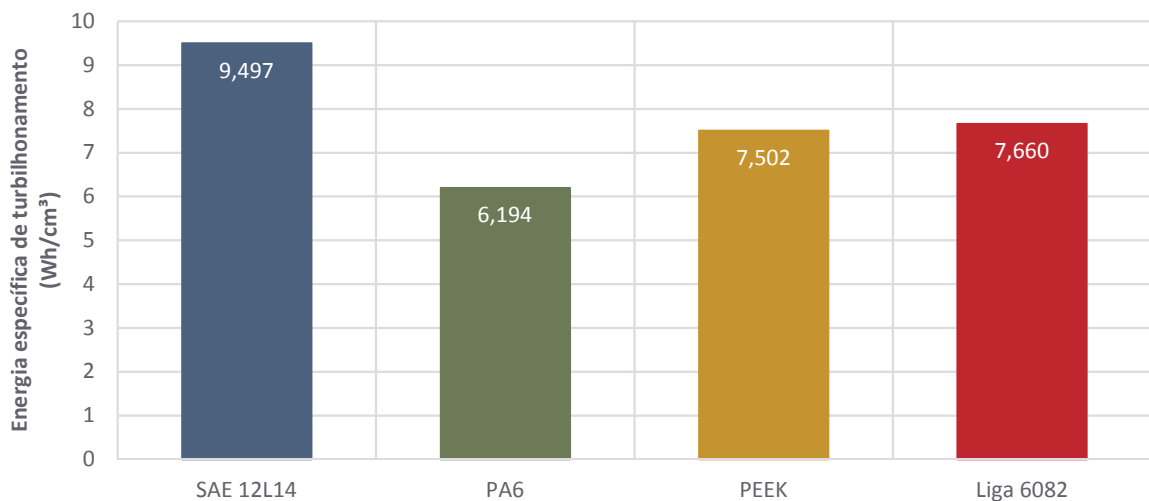
4.6.1 Eficiência de usinagem dos rotores

A partir dos dados dimensionais, tempos de operação e medições elétricas realizadas na usinagem dos rotores foram calculados três parâmetros de eficiência do processo: taxa de remoção de material (TRM) e duas energias específicas distintas.

A TRM representa o volume de material removido, ou seja, a diferença entre a dimensão final e a bruta, por unidade de tempo. Este é um dos parâmetros mais utilizados para mensurar a eficiência do processo de usinagem. Para os rotores deste trabalho a TRM atingiu o valor de $0,618 \text{ cm}^3/\text{min}$ para todos os materiais, uma vez que foram utilizados as mesmas ferramentas e parâmetros de corte.

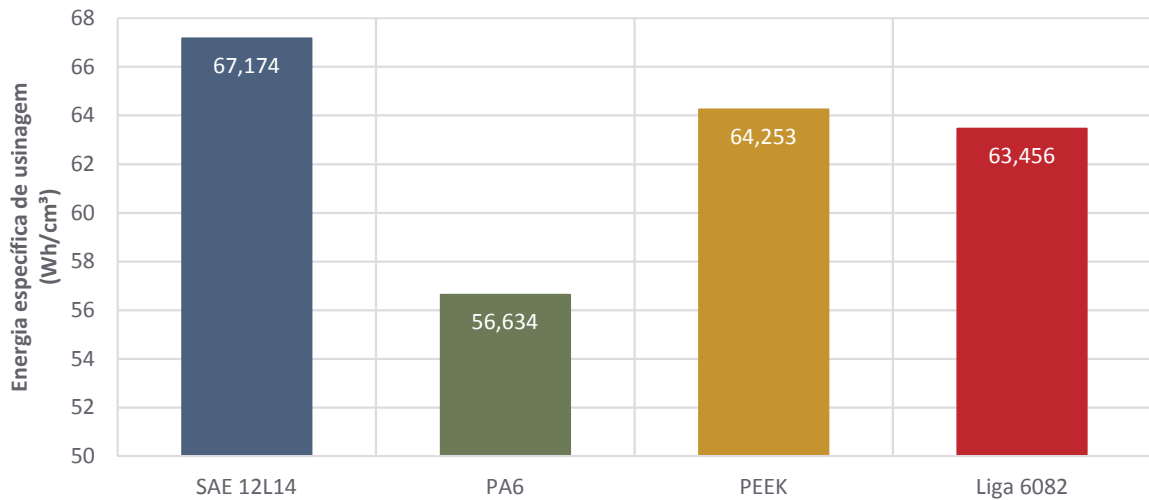
A energia específica de usinagem utiliza dados da TRM (volume e tempo) e consumo elétrico do processo, e entrega um resultado em termos de energia elétrica consumida em relação ao volume de material usinado. Conforme descrito na metodologia, foram calculadas a energia específica de turbilhamento, que considera apenas esta operação (principal), e a energia específica de usinagem, propondo avaliar todas as operações envolvidas na usinagem do rotor: turbilhamento, furação, corte, etc. Os resultados estão dispostos nas Figuras 4.23 e 4.24.

Figura 4.23 – Energia específica de turbilhamento dos diferentes materiais



Os rotores de aço SAE 12L14 retrataram a maior energia específica de turbilhamento, ou seja, apresentam o maior consumo de energia elétrica por volume de material usinado. Esse comportamento era esperado, uma vez que este material detém o maior esforço de corte entre os quatro estudados. Sendo assim, justifica-se os rotores de PA6 obterem a menor energia específica, aproximadamente 35% menor que do aço, pelo menor esforço mecânico da operação. Contudo, se escolhida a ferramenta e parâmetros adequadas especialmente para polímeros poderiam encontrar-se resultados ainda melhores.

Figura 4.24 – Energia específica de usinagem dos diferentes materiais



A energia específica de usinagem, que abrange todo o processo, encolhe a diferença entre os extremos de 35% para 16%. Isso ocorre porque a diferença das propriedades mecânicas dos materiais apresenta grande influência no esforço de corte no turbilhonamento, ao passo que não denota tamanha relevância, por exemplo, na movimentação dos eixos do torno, que pouco alteram seu consumo. E ainda, nos equipamentos integrados, indispensáveis para funcionamento e manutenção do CNC (computador, lubrificação, fonte, etc.), o tipo de material nada interfere, como era de se esperar.

4.6.2 Eficiência das BCPs

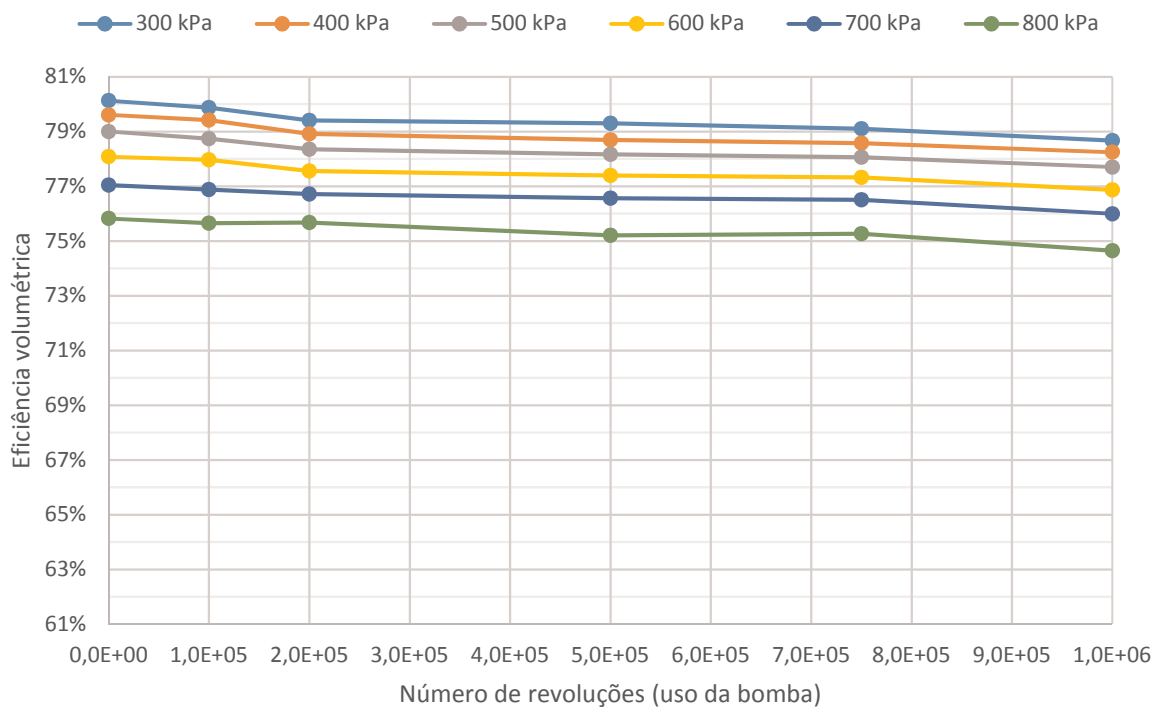
Os resultados utilizados para construção das curvas características e os de potência elétrica, ambos ao longo do uso das bombas, até o total de 1 milhão de ciclos, munem os cálculos de eficiência volumétrica e total destas BCPs.

A eficiência volumétrica é resultado da vazão nominal da bomba, calculada a partir dos dados metrológicos dos rotores, expostos nas Tabelas 4.1 a 4.4, pela vazão real, obtida nos testes práticos e já apresentada. Portanto, mensura a perda de vazão por escorregamento, longitudinal e transversal, característica no funcionamento de bombas de cavidades progressivas. Já a eficiência global relaciona o trabalho de fluido realizado pela bomba, produto da vazão e pressão, pela potência elétrica necessária.

As eficiências volumétricas das BCPs estudadas são exibidas nas Figuras 4.25 a 4.29. Rapidamente percebe-se que a BCP com rotor de PA6 trabalha na menor faixa de eficiência volumétrica, de 61 a 65,5%, seguida pela de PEEK, no intervalo entre 67% e 70,5%, e as de

aço cromado e alumínio, exibindo os melhores resultados, de 74,5% a 80,5%. A discrepância de eficiência entre estes materiais está relacionada aos distintos módulos de elasticidade, conforme explicado anteriormente nas curvas de vazão. Rotores poliméricos, com menores módulos de elasticidade, apresentam deflexão devido a carga de interferência com o estator, fragilizando a linha de estanqueidade que forma as cavidades, aumentando o chamado lift (escorregamento) das BCPs, diminuindo a vazão e, conseqüentemente, a eficiência volumétrica.

Figura 4.25 – Eficiência volumétrica da BCP com rotor de SAE 12L14 cromado



Um resultado muito importante, no contexto da indústria tintométrica, foi a pequena variação de eficiência volumétrica ao longo da vida da BCP. Ao final de 1 milhão de ciclos, equivalente a dosagem capaz de pigmentar milhares de litros de tintas, a variação da eficiência não ultrapassou $\pm 2,5\%$, para nenhum dos tipos de rotores. Este bom desempenho traduz-se em estabilidade das cores produzidas por apresentar baixíssima variação de volume dosado.

A variação neste eixo se atribui parcialmente ao pequeno desgaste encontrado no estator e rotor ao final do uso, apresentados anteriormente. Bombas com rotores de maior dureza e módulo de elasticidade, como o aço cromado e o alumínio (Figuras 4.25 e 4.29), experimentam pequena redução da eficiência, pois registram maior desgaste no estator. Este desgaste se dá na linha de contato com o rotor, reduzindo ao longo do tempo a interferência entre os dois

componentes, o que aumenta o escorregamento de fluido e, por conseguinte, reduz a eficiência volumétrica da bomba de cavidades progressivas.

O inverso acontece nas bombas com rotores poliméricos (Figuras 4.26 e 4.27). Nestas BCPs, os estatores sofrem menos desgaste em decorrência da menor dureza da superfície e módulo de elasticidade dos rotores. Estes, também apresentam pequeno desgaste, que no caso dos rotores de aço cromado e alumínio pode ser considerado praticamente nulo. O pequeno desgaste destes rotores aumenta a vazão da bomba, pois preenche menor espaço dentro do estator, aumentando o volume de fluido nas cavidades progressivas. Sendo assim, ocorre um pequeno incremento na eficiência volumétrica.

Figura 4.26 – Eficiência volumétrica da BCP com rotor de Poliamida 6 (PA6)

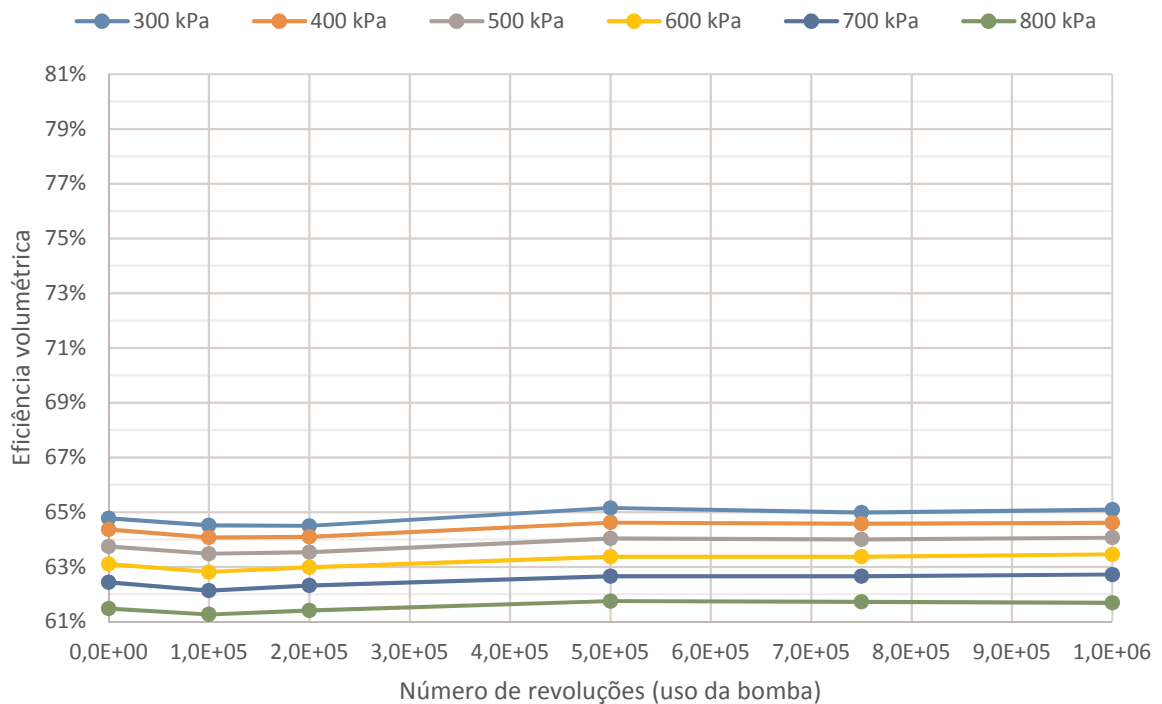


Figura 4.27 – Eficiência volumétrica da BCP com rotor de PEEK

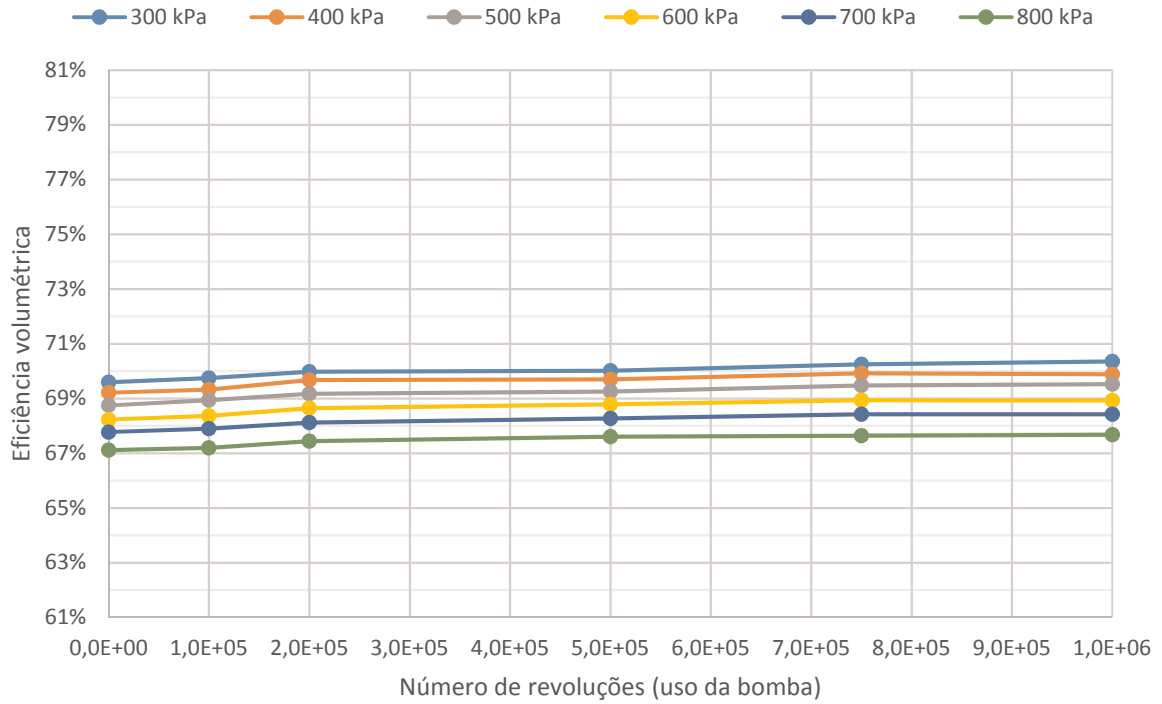
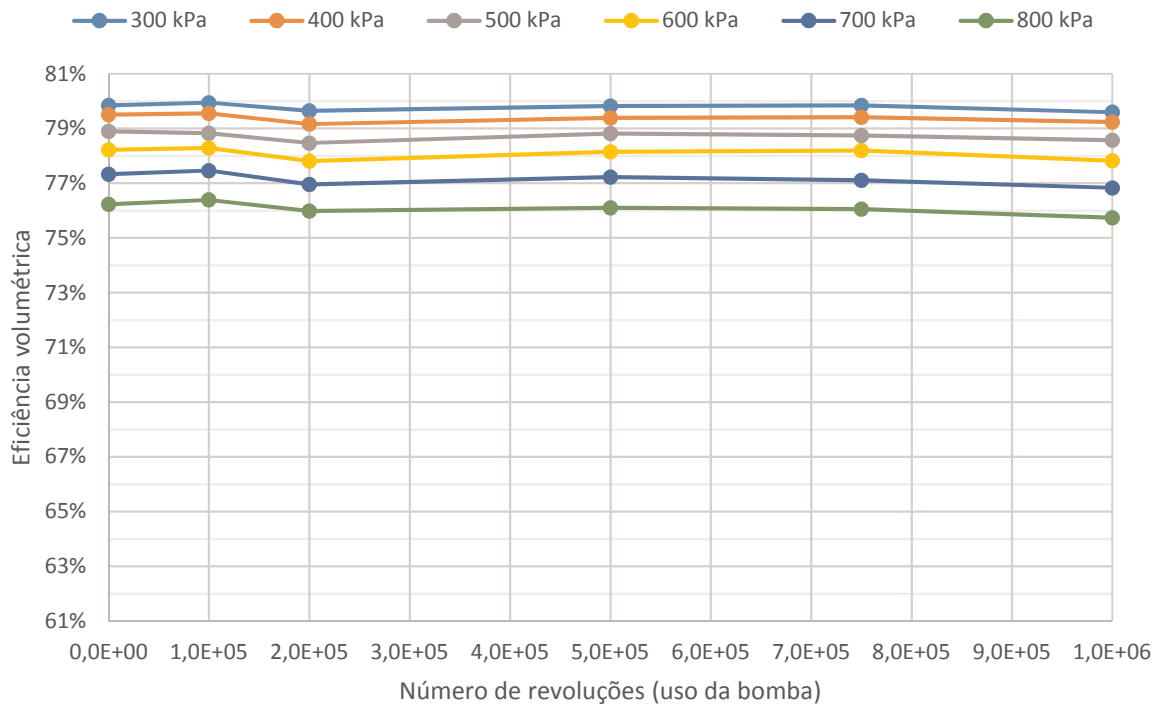


Figura 4.28 – Eficiência volumétrica da BCP com rotor de Alumínio Liga 6082

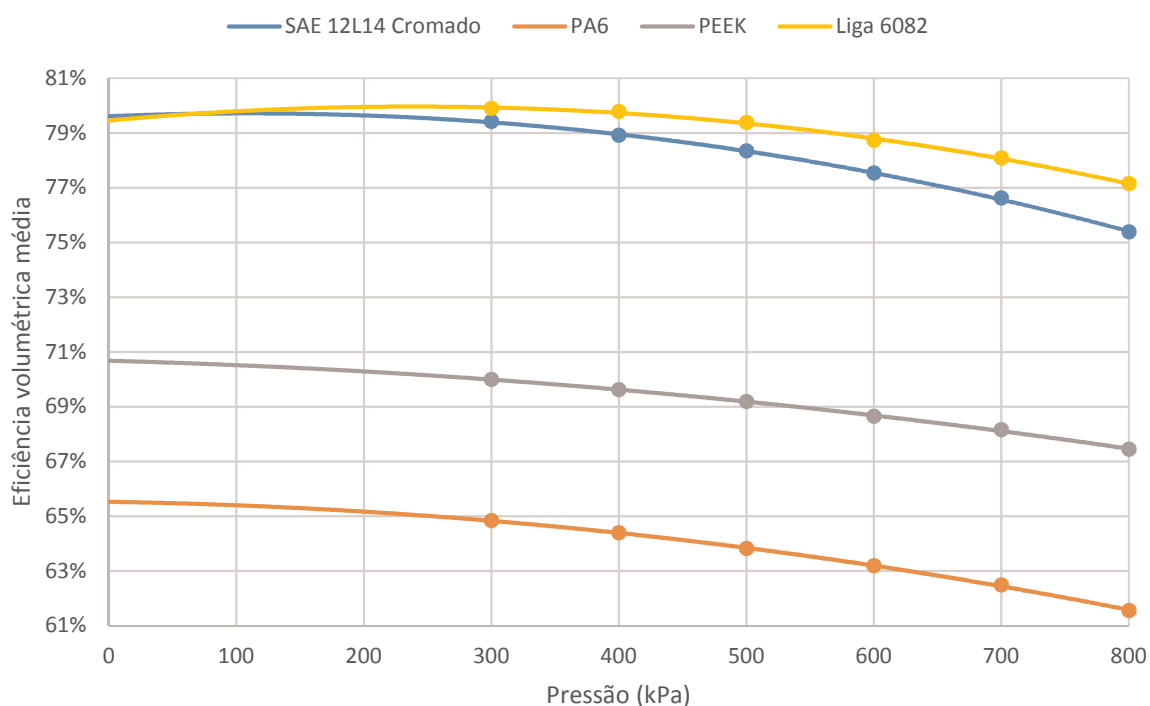


Nos quatro tipos de bombas, verifica-se que as eficiências volumétricas decrescem à medida que se eleva a pressão, em média 3% de variação num aumento de 300 kPa a 800 kPa,

respectivamente. Observa-se que é ínfima a influência do material do rotor neste caso, registrando apenas 1,5% de diferença entre os quatro. Isso se deve ao fato de que o aumento de pressão na bomba reflete-se majoritariamente como carga normal à superfície do estator, deformando-o nesta direção e sentido, o que diminui a interferência com o rotor, e amplia a perda por escorregamento. Este comportamento justifica a similaridade de comportamento em todas BCPs avaliadas, uma vez que o material do estator é o mesmo.

A comparação entre as eficiências volumétricas médias é exibida na Figura 4.29. Nela claramente percebe-se o menor desempenho dos rotores poliméricos e a similaridade do aço e alumínio, com uma leve superioridade deste último.

Figura 4.29 – Comparação entre eficiência volumétrica média das BCPs



Percebe-se que as curvas do presente trabalho se mostram similares às de Azevedo (2012) e Gamboa et al. (2003), apresentando redução da eficiência volumétrica, em forma aproximadamente parabólica, à medida que se aumenta a pressão na linha. Também é interessante notar que para a velocidade angular de 400 RPM, os trabalhos de Azevedo (2012) e Gamboa et al. (2003) apontam eficiência volumétrica entre 50% e 75% para a pressão de 120 psi (em torno de 800 kPa), mostrando-se similar aos resultados deste estudo, mesmo que de BCPs de dimensões e aplicação completamente distintas.

Os resultados de eficiência global das BCPs estão dispostos nas Figuras 4.30 a 4.34. Similarmente à eficiência volumétrica, a total exibiu grande discrepância entre os rotores poliméricos em relação ao aço cromado e o alumínio. Também apresentou comportamento estável ao longo da vida, ou seja, experimenta variações de vazão e consumo elétrico muito pequenas para cada respectiva pressão.

Importante ressaltar a baixa eficiência global das bombas de cavidades progressivas de estatores elastoméricos trabalhando em baixas pressões, condizente com os resultados encontrados. Este fato acontece, sobretudo, devido a interferência de montagem do rotor e estator, que exige uma potência elétrica razoável de acionamento para perfazer o torque necessário de deformação elástica e atrito na interface destes componentes. Portanto, para baixas pressões, o trabalho realizado sobre o fluido é pequeno comparado ao trabalho mecânico para acionamento da bomba, o que justificam os discretos valores de eficiência global. Sendo assim, quando a BCP trabalha em elevada pressão, dilui melhor a potência elétrica de seu próprio funcionamento, percentualmente na potência total, o que eleva a eficiência global, ou seja, aproveita melhor a energia fornecida ao motor.

Figura 4.30 – Eficiência global da BCP com rotor de SAE 12L14 cromado

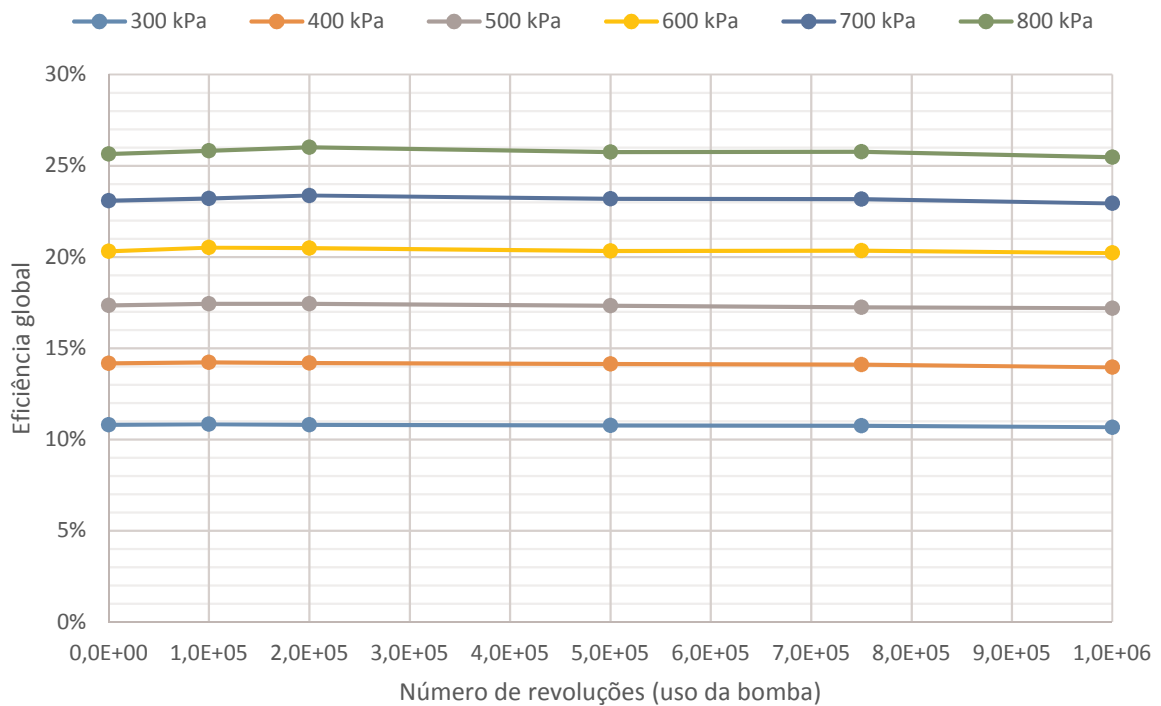


Figura 4.31 – Eficiência global da BCP com rotor de Poliamida 6 (PA6)

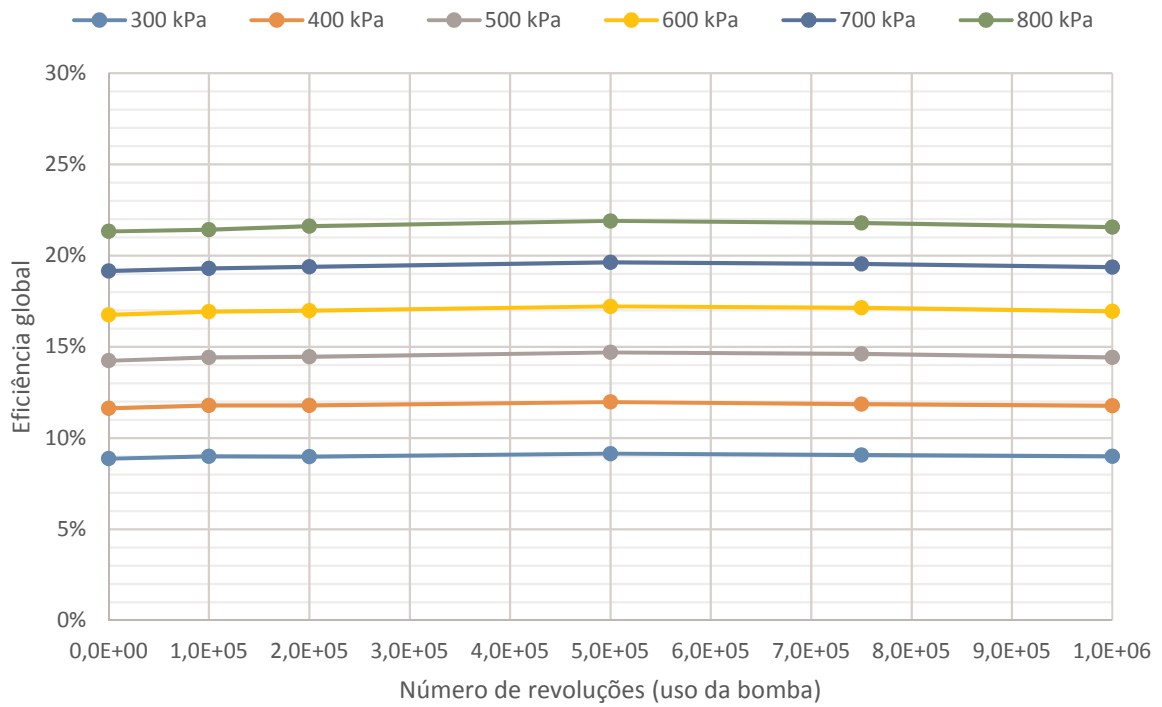


Figura 4.32 – Eficiência global da BCP com rotor de PEEK

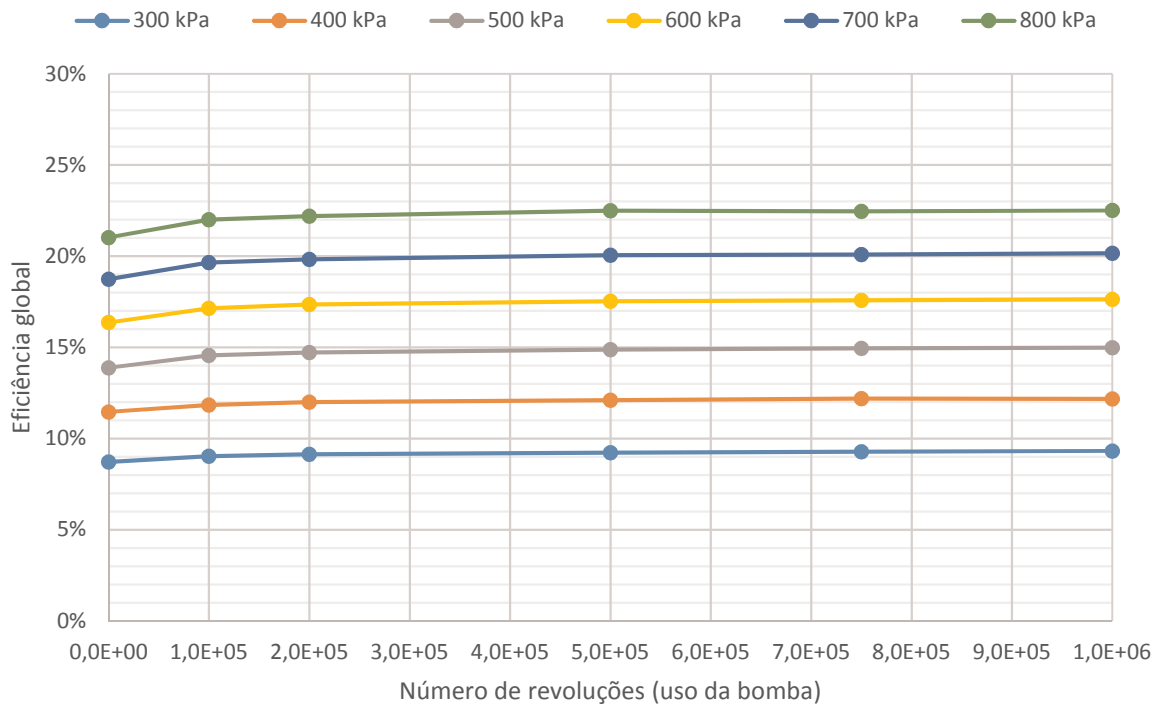


Figura 4.33 – Eficiência global da BCP com rotor de Alumínio Liga 6082

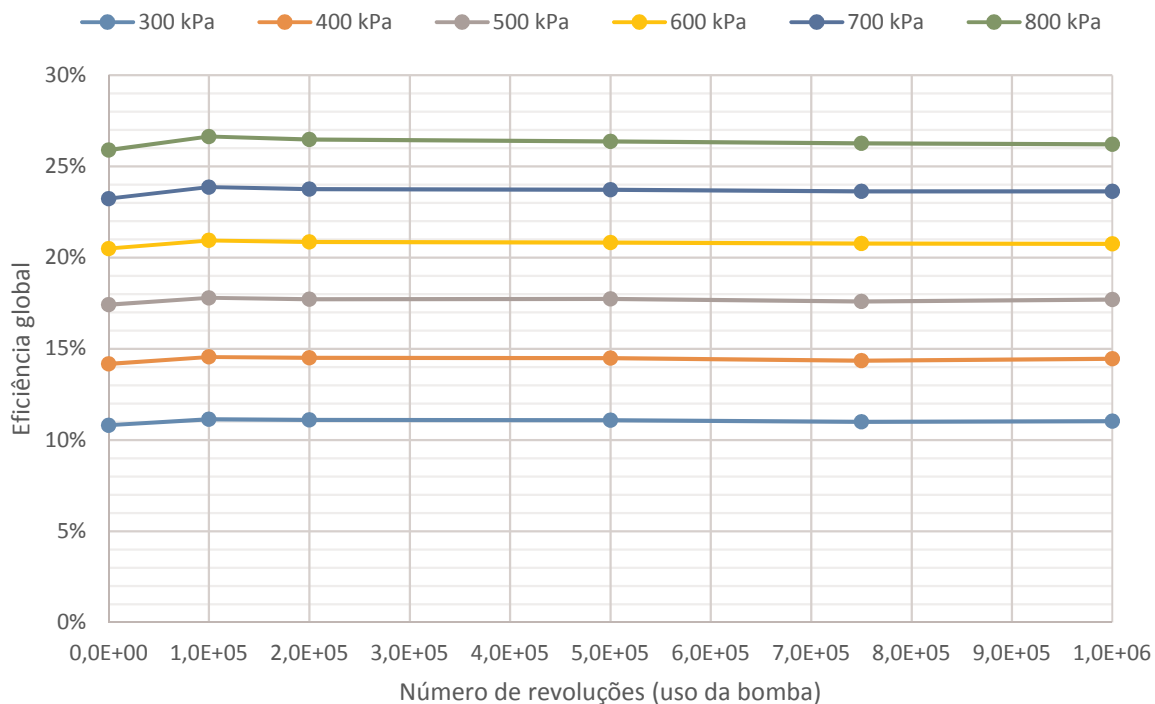
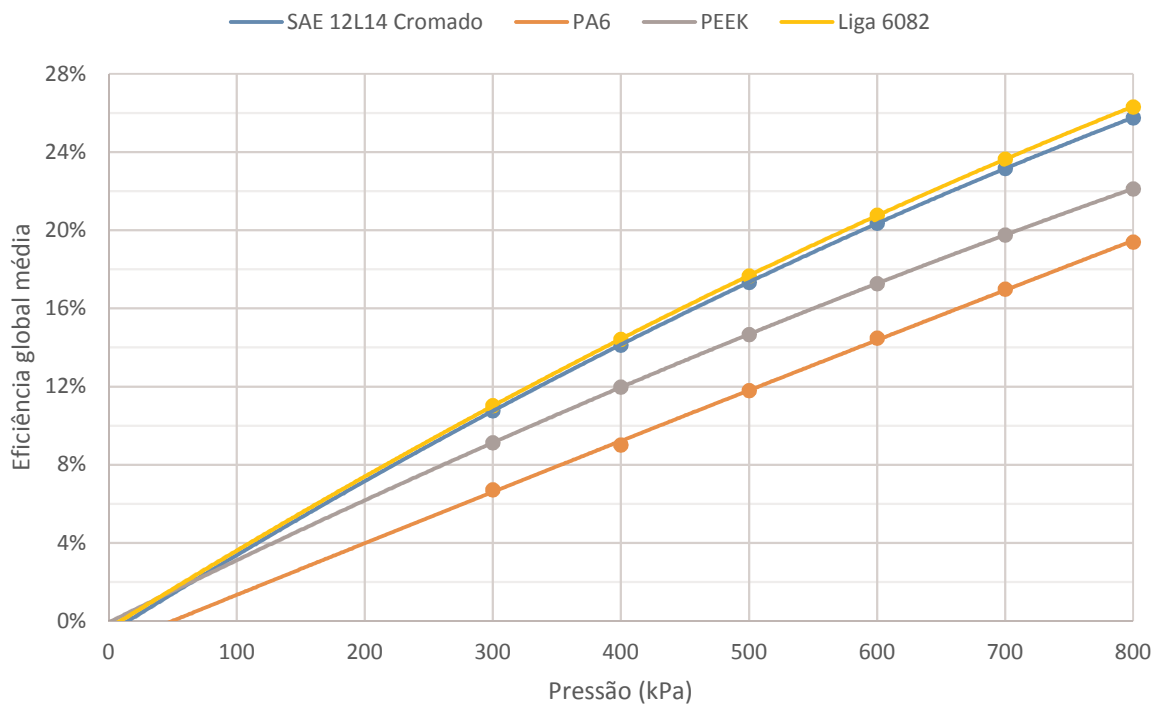


Figura 4.34 – Comparação entre eficiência global média das BCPs



A comparação dos resultados é melhor apresentada na Figura 4.34, que faz uma média dos resultados ao longo do uso da bomba. Como os menores pontos de avaliação na bancada

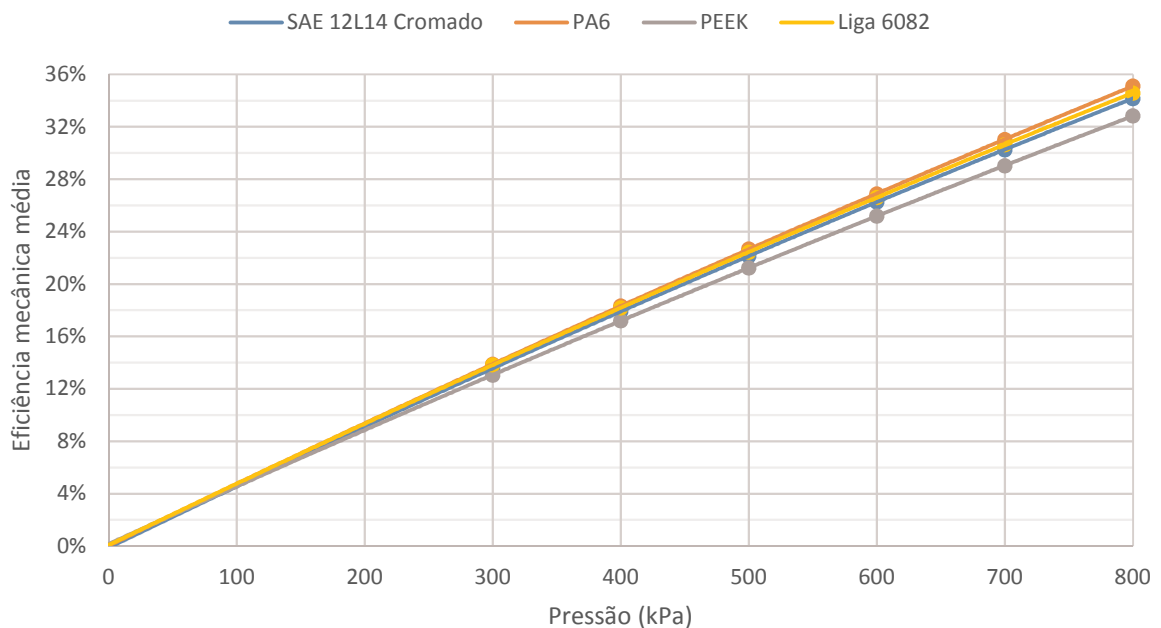
foram de 300 kPa, em virtude das características do fluido e linha hidráulica, as curvas foram extrapoladas para os valores menores, de modo a ilustrar sua tendência de comportamento. Evidencia-se, novamente, o menor desempenho dos rotores poliméricos, e discreta superioridade, em torno de 0,3% para 300 kPa e 0,6% para 800 kPa, do rotor de alumínio em relação ao aço cromado (referência).

Para ambas eficiências, volumétrica e global, as bombas montadas com rotores de alumínio e PA6 registraram os melhores e piores resultados, respectivamente.

A eficiência mecânica, componente da global, é apresentada na Figura 4.35 também através de sua média no tempo de uso da BCP. Seu comportamento crescente, com o aumento de pressão no intervalo estudado, é similar ao da eficiência global, uma vez que é calculada a partir desta. Verifica-se que apenas o rotor de PEEK apresenta uma diferença considerável de eficiência mecânica entre os quatro materiais avaliados, em torno de 0,8% para 300 kPa e 2,3% para 800 kPa.

Os resultados mostram que a eficiência mecânica sofre menor influência do material do rotor, diferentemente, das eficiências volumétrica e global. Contudo, seus valores dão dimensão de quanta energia, efetivamente, é dissipada pelas perdas inerentes à forma construtiva das bombas de cavidades progressivas, isto é, interferência entre estator e rotor, atrito na interface, transmissão mecânica, etc., reforçando o fato de que este tipo de equipamento apresenta melhores eficiências à medida que se eleva a pressão.

Figura 4.35 – Comparação entre eficiência mecânica média das BCPs



4.7 FERRAMENTAS DE GESTÃO AMBIENTAL

O contexto ambiental participa de maneira cada vez mais influente na utilização de materiais mais sustentáveis e menos impactantes ao meio ambiente, aumentando progressivamente sua força nas tomadas de decisões na indústria.

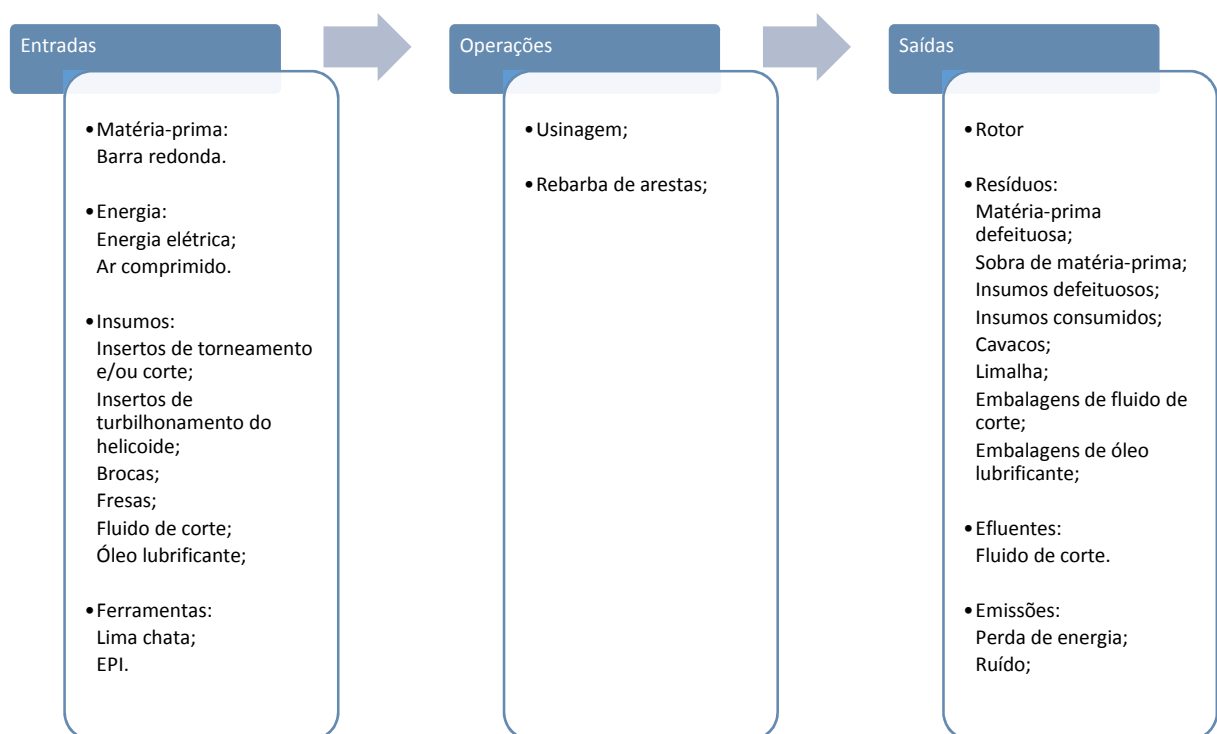
Duas ferramentas de gestão ambiental foram aplicadas, e seus resultados são apresentados a seguir.

4.7.1 Produção Mais Limpa (P+L)

No fluxograma do processo de fabricação do rotor, apresentado pela Figura 4.36, documentou-se as entradas e saídas de energia e materiais, ilustrando o balanço do processo e possibilitando o controle dos parâmetros de operação para a escolha de uma estratégia adequada.

A partir do fluxograma identificam-se os resíduos e a causa de sua geração e foi possível avaliar os processos de fabricação dos rotores no sentido de sugerir oportunidades de melhoria tendo como base a metodologia P+L, abordadas a seguir.

Figura 4.36 – Fluxograma de processo de fabricação do rotor



4.7.1.1 Redução na fonte

A redução na fonte, nível 1 da estrutura da P+L, pode ser feita como modificação no produto ou no processo.

4.7.1.1.1 *Modificação no produto*

Uma forma de melhoria no rotor, é otimizar seu diâmetro máximo, ou seja, reduzir a diferença entre o maior e o menor diâmetro desta peça, nos casos em que a parte helicoidal do mesmo é menor que a de fixação na junta universal. Uma mudança ainda mais significativa seria diminuir a excentricidade do helicóide que, conseqüentemente, impactaria em menos material removido, ao passo que diminuiria as cavidades da bomba e sua vazão nominal, exigindo uma avaliação detalhada da viabilidade da mudança. Esta mudança resultaria em menor geração de resíduos sólidos.

4.7.1.1.2 *Modificação no processo*

Para o processo de usinagem, o impacto ambiental mais relevante provém da utilização dos fluidos de corte. O manuseio incorreto dos fluidos de corte pode gerar resultados desagradáveis que vão desde problemas no processo de fabricação e ataques à saúde dos operadores até o descarte prematuro deste produto (Oliveira e Alves, 2007).

Portanto, na modificação no processo, foram levantadas as possibilidades de melhoria focadas nestes fluidos, divididas nas três alternativas sugeridas pela metodologia: Housekeeping, substituição de matérias-primas e modificação da tecnologia.

a) Housekeeping

Housekeeping é um método de boas práticas de fabricação onde busca-se estabelecer procedimentos administrativos e técnicos que possibilitem a minimização da produção de resíduos (Medeiros et al, 2007).

Podem ser tomadas medidas preventivas para seleção do fluido como, por exemplo, exigir dos fornecedores garantia de procedência, assistência e suporte ao manejo destes. Atualmente a empresa não possui fornecedor que manuseie o fluido usado, tendo que pagar

pelo descarte para um terceiro que realize o tratamento. A mudança exige a procura de um fornecedor qualificado e avaliação do custo adicional deste trabalho.

Para a utilização dos fluidos, verificam-se oportunidades como ajuste dos parâmetros de vazão e direção do jato na peça, capacitação dos colaboradores para evitar contaminação e desenvolvimento de hábitos de higiene. Hoje não há controle preciso de vazão, o mesmo é realizado manualmente por uma válvula de esfera controlada pelo operador. A mudança exige instalação de regulador de vazão interligado ao software de controle do CNC, que grave o parâmetro de vazão para cada programa de corte. O custo não é elevado e está em processo de orçamento.

Os fluidos podem ser recuperados e tratados. Neste sentido, há meios de melhoria nos processos de recuperação, avaliando sua eficiência, controlando concentração e pH de acordo com as recomendações do fabricante, observando quantidade e qualidade da água utilizada para diluição, entre outros. Contudo, esta mudança impacta em capacitação de colaboradores, mão de obra e compra de material de medição e tratamento. Sendo preferível atualmente continuar pagando por tratamento externo ou a troca de fornecedor por um que também colete o fluido usado.

b) Substituição de matéria-prima

Podem substituir-se os fluidos de óleo mineral pelos formulados com óleo vegetal, que possuem maior facilidade de degradação, não agredem a saúde do operador e possibilitam o emprego de tratamentos biológicos e químicos nos resíduos (Oliveira e Alves, 2007). Atualmente a empresa utiliza fluidos de óleo mineral e avalia este item juntamente com o fornecedor para verificar sua viabilidade econômica.

c) Modificação da tecnologia

A maioria dos processos de usinagem, bem como a atualmente utilizada pela empresa para os rotores, utiliza como tecnologia de refrigeração a inundação, que lança grandes quantidades de fluido de corte na peça, tornando alto seu consumo e posterior trabalho de tratamento.

Entre as possibilidades de melhoria, está a Mínima Quantidade de Lubrificante (MQL), que auxiliada por ar comprimido pulveriza apenas a quantidade necessária para reduzir o atrito com a peça. Mas, a técnica possui a desvantagem de gerar névoa e fumaça de óleo que aumenta

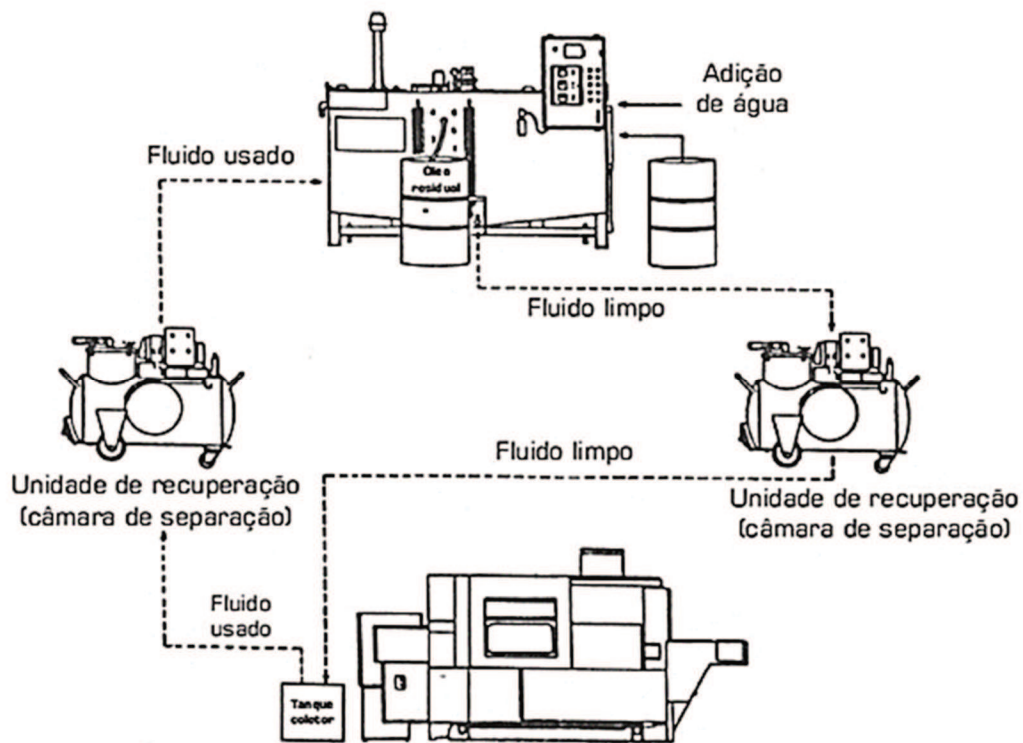
o índice de poluentes em suspensão e exige um sistema de exaustão eficiente. Neste sentido, este tipo de técnica precisaria ser avaliada quanto aos benefícios ambientais e econômicos, e os impactos positivos e negativos advindos de sua implementação. Devido ao alto custo envolvido e a necessidade de elaboração de um projeto específico, não foi considerado como uma oportunidade no presente trabalho.

Outra técnica a ser analisada é a usinagem a seco. Este método possui grandes vantagens como eliminação de custo do fluido de corte e atendimento aos requisitos ambientais, ao passo que, traz consigo desafios a serem transpostos. A máquina-ferramenta necessita rigidez suficiente, o material da peça deve resistir aos gradientes térmicos impostos e, em alguns casos, ferramentas de corte especiais. No caso estudado, foi possível utilizar esta técnica apenas nos rotores de PA6, sem modificações no equipamento, reduzindo o impacto ambiental de geração de efluentes.

4.7.1.2 Reciclagem interna

Para a usinagem o mais indicado seria a recuperação e reciclagem do fluido de corte utilizado para remoção de óleo, sujeira e bactérias, e correção da concentração, dando condições para o mesmo retornar ao processo (Oliveira e Alves, 2007). A Figura 4.37 ilustra um sistema de recuperação de fluidos de corte. O alto custo da implantação deste sistema inviabiliza atualmente a melhoria. Este projeto é de justificável aplicabilidade praticamente apenas para empresas especializadas em usinagem, ou seja, que trabalham apenas com este processo, e não como um dos seus.

Figura 4.37 – Sistema de recuperação de fluidos de corte



Fonte: OLIVEIRA e ALVES (2007).

4.7.1.3 Reciclagem externa

No último nível do P+L, analisam-se as possibilidades de agregar valor aos resíduos que não puderam ser reutilizados internamente.

Os cavacos e limalhas, após filtragem fluido do corte, podem ser comercializados externamente, por exemplo, no caso dos materiais metálicos, diretamente com empresas siderúrgicas de reaproveitamento de aço em fornos elétricos à arco ou indiretamente através de sucateiros. O mesmo pode ser feito com as sobras de matéria-prima, insertos e ferramentas de usinagem. Atualmente a empresa não realiza este trabalho e terceiriza a disposição deste material com prestador externo. Entretanto, a implantação não traz impactos econômicos significativos e será possível aplicar-se no processo.

4.7.1.4 Resultados das possíveis melhorias

A partir do levantamento das possibilidades de melhoria, as mesmas são dispostas na Tabela 4.14.

Tabela 4.14 – Oportunidades de melhoria pela metodologia P+L

Grupo P+L	Descrição	Aplicabilidade				Benefícios	Barreiras	Viabilidade
		Aço	PA6	PEEK	AI			
Modificação no produto	Redução de diferença entre diâmetros do rotor	X	X	X	X	Redução de cavacos, resíduos sólidos	Modificação no projeto, limitação de aplicação do rotor em alguns casos	Inviável, alto impacto funcional da bomba
	Redução da excentricidade do helicoide	X	X	X	X	Redução de cavacos, resíduos sólidos	Modificação no projeto, redução na vazão nominal da bomba	Inviável, alto impacto funcional da bomba
Housekeeping	Seleção preventiva do fluido de corte	X		X	X	Assistência e suporte ao manejo pelo fornecedor	Custo, dificuldade de encontrar fornecedor garantido	Viável, baixo investimento
	Ajuste de parâmetros de vazão e direção do fluido de corte	X		X	X	Redução de fluido de corte, redução de efluentes	Capacitação de colaboradores	Viável, baixo investimento
	Hábitos de higiene com o fluido de corte	X		X	X	Saúde dos operadores	Capacitação de colaboradores	Viável, baixo investimento
	Evitar contaminação do fluido de corte	X		X	X	Redução de efluentes	Capacitação de colaboradores	Viável, baixo investimento
	Recuperação e tratamento de fluidos de corte	X		X	X	Redução de efluentes	Custo, implantação de equipamentos, capacitação de colaboradores	Inviável, alto investimento, alto impacto cultural
Substituição de matéria-prima	Substituição de fluidos de corte pelos de composição vegetal	X		X	X	Biodegradáveis, saúde dos operadores, redução de efluentes	Custo, limitadas aplicações	Viável, alto investimento
Modificação da tecnologia	Aplicação do método MQL para os fluidos de corte	X		X	X	Redução de fluido de corte, redução de efluentes	Custo, implantação de equipamentos, emissão de névoa	Viável, baixo investimento, baixa mudança cultural
	Usinagem à seco		X			Eliminação de efluente, conforme a legislação ambiental	Rigidez do equipamento, necessidade de alteração do material do rotor	Inviável (exceto PA6), alto investimento
Reciclagem interna	Recuperação do fluido de corte	X		X	X	Redução de efluentes	Custo, implantação de equipamentos	Inviável, alto investimento, alto impacto cultural
Reciclagem externa	Comercialização de cavacos, sobras de matéria-prima, insertos de usinagem	X				Redução de resíduos, descarte consciente, retorno financeiro	Capacitação de fornecedores para coleta, busca de empresas parceiras	Viável, baixo impacto cultural
	Comercialização de fluido de corte usado	X		X	X	Redução de efluentes, descarte consciente, retorno financeiro	Capacitação de fornecedores para coleta, busca de empresas parceiras	Viável, baixo impacto cultural

4.7.2 Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV)

A AICV simplificada foi realizada com o auxílio do software CES EduPack 2018, através de diferentes simulações para comparação dos impactos ambientais decorrentes, do consumo de energia elétrica na sua fabricação, e do potencial de reciclagem de cada respectivo material. Além da comparação entre os materiais estudados neste trabalho, os mesmos foram relacionados com outros tradicionalmente utilizados em rotores de BCPs.

O objetivo foi avaliar o desempenho ambiental dos quatro materiais de rotor e a unidade funcional utilizada para o estudo foi: dosagem de 1000 litros de colorante em 5 anos. Através desta definição, foram estipulados e calculados os dados de entrada necessários para as simulações no respectivo software, são eles: vida do produto (anos), potência elétrica dissipada, dias de uso por ano, horas de uso por dia.

A vida do produto foi definida, trivialmente, como 5 anos, conforme a unidade funcional. Seu uso foi distribuído em 200 dias por ano e as horas diárias foram calculadas a partir das vazões encontradas nos pontos de medição das bombas e extrapoladas até que o volume total dosado atingisse os 1000 litros. A potência elétrica dissipada utiliza a média de cada material ao longo do uso das bombas nos testes de bancada.

Os dados de entrada para os materiais não ensaiados na bancada utilizaram a seguinte regra: materiais com revestimento superficial usufruíram dos valores do aço SAE 12L14 cromado, por apresentar dureza e acabamento semelhante, e os sem revestimento, fizeram uso dos valores médios dos três materiais sem revestimento avaliados neste trabalho: PA6, PEEK e Liga 6082.

4.7.2.1 Simulação 1 – Material de referência em relação aos materiais tradicionais

Nesta simulação foi comparado o desempenho do material do projeto original utilizado no rotor, aço SAE 12L14 cromado, em relação a alguns materiais tradicionalmente empregados neste componente pelos fabricantes de bombas de cavidades progressivas: aço inoxidável AISI 310, aço inoxidável AISI 420, aço SAE 1050 com revestimento de carbeto de tungstênio, e carbeto de silício.

A Tabela 4.15 exhibe os dados de entrada utilizados para a simulação. Seguindo a analogia anteriormente explicada, a potência elétrica dissipada e as horas diárias de uso indicadas para o aço SAE 1050 com revestimento de carbeto de tungstênio são as do aço SAE 12L14 cromado. Já os aços inoxidáveis e o carbeto de silício, todos sem revestimento de

superfície, utilizaram a média dos valores dos demais materiais avaliados na bancada experimental deste trabalho.

Tabela 4.15 – CES EduPack - Simulação 1 – Dados de entrada

CES EduPack - EcoAudit		Rotor				
		SAE 12L14 cromado	AISI 310	AISI 420	SAE 1050 WC	SiC
Produto - Análise de custo		n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Material, manufatura e fim de vida	Quantidade	1	1	1	1	1
	Material EduPack	<i>Carbon steel, AISI 12L14, as rolled</i>	<i>Stainless steel, austenitic, AISI 310, annealed</i>	<i>Stainless steel, martensitic, AISI 420, tempered at 204°C</i>	<i>Carbon steel, AISI 1050, as rolled</i>	<i>Silicon Carbide (HIP)</i>
	Parcela de material reciclado	% típica, banco de dados EduPack	% típica, banco de dados EduPack	% típica, banco de dados EduPack	% típica, banco de dados EduPack	<i>Virgin (0%)</i>
	Massa	0,01298 kg	0,0127 kg	0,0127 kg	0,01298 kg	0,00511 kg
	Processo primário	Laminação	Laminação	Laminação	Laminação	<i>Included in material value</i>
	Processo secundário	Usinagem	Usinagem	Usinagem	Usinagem	Acabamento
	Material removido no processo	54%	54%	54%	54%	54%
	Fim de vida	Reciclagem	Reciclagem	Reciclagem	Reciclagem	<i>Downcycle</i>
	Porcentagem recuperada	100%	100%	100%	100%	100%
	Acabamento EduPack	<i>Electroplating</i>	n/a	n/a	<i>Electroplating</i>	n/a
Quantidade	0,001199 m ²	n/a	n/a	0,001199 m ²	n/a	
Transporte		n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Uso	Vida do produto	5 anos	5 anos	5 anos	5 anos	5 anos
	Matriz energética de uso	Brasil	Brasil	Brasil	Brasil	Brasil
	Tipo de uso de energia	Modo estático	Modo estático	Modo estático	Modo estático	Modo estático
	Entrada e saída de energia	Elétrica para mecânica	Elétrica para mecânica	Elétrica para mecânica	Elétrica para mecânica	Elétrica para mecânica
	Potência	10,31 W	10,29 W	10,29 W	10,31	10,29
	Dias por ano	200	200	200	200	200
	Horas por dia	0,0763	0,0856	0,0856	0,0763	0,0856

A Figura 4.38 apresenta graficamente os resultados obtidos para o consumo de energia ao longo da vida dos cinco materiais.

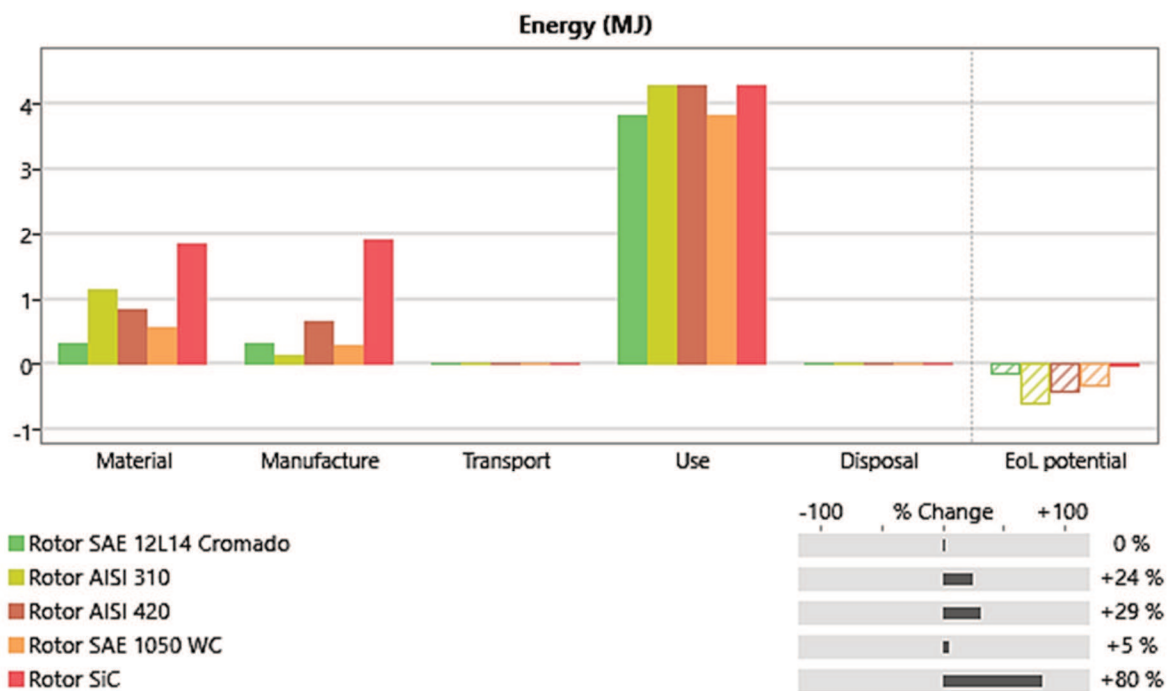
Verifica-se que todos os materiais atingem consumo de energia maior do que aço SAE 12L14 para obtenção de sua matéria-prima bruta de comercialização, principalmente o carbeto de silício. No caso dos aços inoxidáveis considerou-se o refino do processo siderúrgico, e a presença na sua composição dos elementos cromo e níquel, bem como a extração destes.

Para o processo de manufatura, que neste caso é a usinagem e o revestimento superficial, verifica-se que o aço SAE 12L14 é fortemente acrescido pelo revestimento de superfície, já que contabiliza 0,4 MJ e se posiciona maior que o aço inoxidável AISI 310 com 0,2 MJ, mesmo

sendo um material de fácil usinagem, por ser um resulfurado de alto teor de enxofre. O AISI 420, material de difícil usinagem, registrou aproximadamente 0,7 MJ e ficou atrás apenas do carbeto de silício, próximo de 2 MJ, como era de se esperar, por se tratar de um material extremamente duro e frágil, exigindo maior esforço de usinagem e, conseqüentemente, maior consumo energético deste processo. Já o aço SAE 1050, revestido de carbeto de tungstênio (*WC*), registrou valor similar, aproximadamente 0,4 MJ, ao SAE 12L14 cromado, podendo assim, admitir-se que o revestimento *WC*, exige menor energia, já que o aço resulfurado SAE 12L14 é de fácil usinagem por seu elevado teor de enxofre.

Os valores para o transporte foram considerados nulos pois o rotor é um componente aplicado a um equipamento ainda dentro da empresa, a BCP, onde o presente trabalho foi desenvolvido. Portanto, não foi contabilizada a energia envolvida para esta categoria.

Figura 4.38 – Comparação de energia embutida do material rotor original em relação aos tradicionalmente utilizados em BCPs



Os resultados para o uso, como previsto pela metodologia adotada para os dados de entrada, poderiam experimentar dois valores distintos: dos materiais com revestimento e dos sem revestimento.

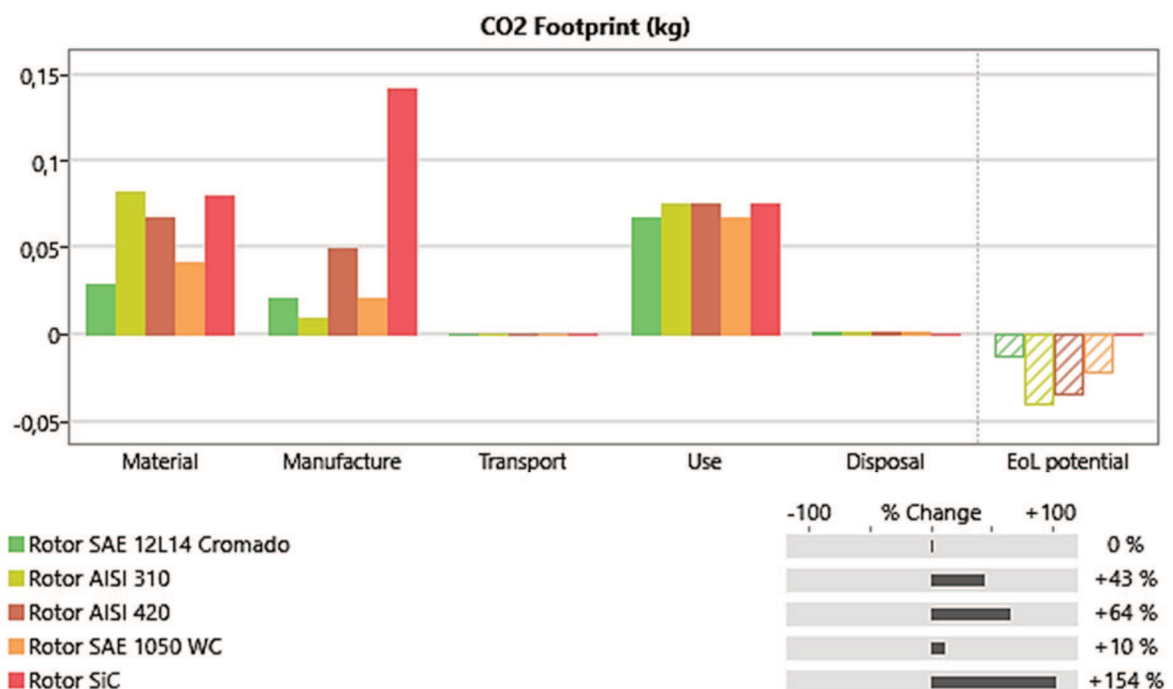
O balanço energético final aponta que o aço SAE 12L14 cromado posiciona-se como o melhor entre os cinco materiais, ou seja, os materiais tradicionalmente utilizados em rotores de BCPs possuem maior energia embutida e, conseqüentemente, maior impacto ambiental. Um

rotor de carbeto de silício, por exemplo, resultaria em desempenho pior na ordem de 80% nesta aplicação, no que tange a energia embutida, mas especificamente quanto ao material e sua manufatura.

Os resultados de CO_2 equivalente são ilustrados pela Figura 4.39. Verifica-se que no quesito do material, o carbeto de silício divide o posto de mais impactante com o aço inoxidável austenítico AISI 304, registrando aproximadamente 0,08 kg de CO_2 . Entretanto, novamente, para a manufatura, mostra agravante impacto ambiental comparado aos demais. Os resultados de uso entre os materiais não apresentaram diferença entre si em relação a avaliação energética da Figura 4.43, uma vez que só dois dados de entrada distintos foram inseridos, conforme explicado anteriormente.

O balanço final, outra vez, aponta o rotor original, SAE 12L14 cromado, como menos impactante ambientalmente, emitindo menores quantidades de dióxido de carbono em relação aos demais. A diferença em relação ao pior, carbeto de silício, chega a 154%.

Figura 4.39 – Comparação de emissão de CO_2 equivalente do material do rotor original em relação aos tradicionalmente utilizados em BCPs



4.7.2.2 Simulação 2 - Material de referência em relação aos materiais propostos

Esta simulação comparou o desempenho do material do projeto original utilizado no rotor, aço SAE 12L14 cromado, em relação aos materiais propostos por este estudo: PA6, PEEK e alumínio Liga 6082.

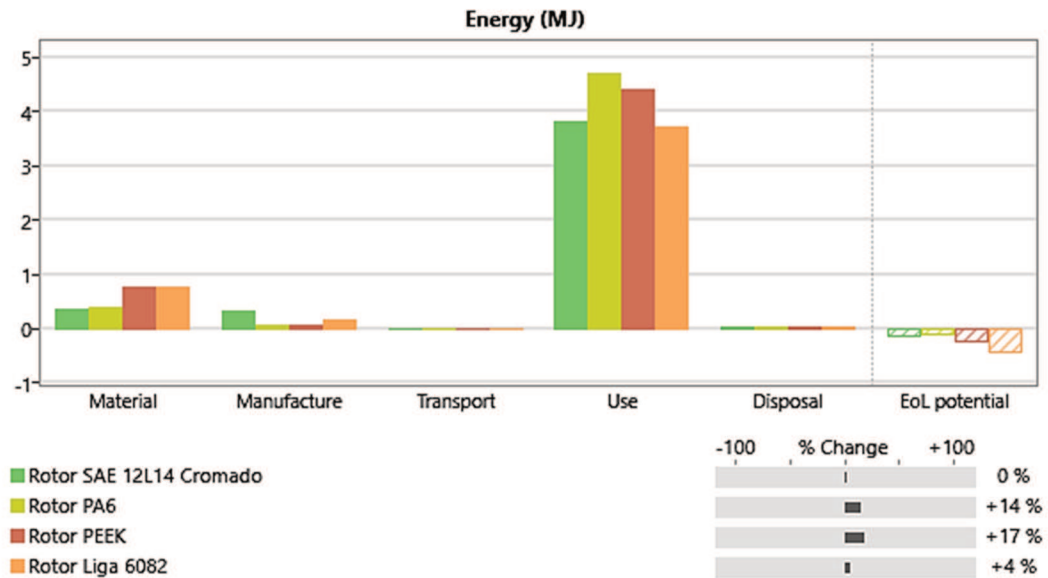
Na Tabela 4.16 são exibidos os dados de entrada. Nesta simulação a potência elétrica dissipada e as horas diárias de uso indicadas de todos os materiais são reais, calculadas a partir das avaliações na bancada experimental.

Tabela 4.16 – CES EduPack - Simulação 2 – Dados de entrada

CES EduPack - EcoAudit		Rotor			
		SAE 12L14 cromado	PA6	PEEK	Liga 6082
Produto	Análise de custo	n/a	n/a	n/a	n/a
Material, manufatura e fim de vida	Quantidade	1	1	1	1
	Material EduPack	<i>Carbon steel, AISI 12L14, as rolled</i>	<i>PA6/66 (copolymer)</i>	<i>PEEK (unfilled)</i>	<i>Aluminum, 6082, T6</i>
	Parcela de material reciclado	% típica, banco de dados EduPack	50%	50%	% típica, banco de dados EduPack
	Massa	0,01298 kg	0,002518 kg	0,002384 kg	0,004483 kg
	Processo primário	Laminação	Extrusão	Extrusão	Laminação
	Processo secundário	Usinagem	Usinagem	Usinagem	Usinagem
	Material removido no processo	54%	54%	54%	54%
	Fim de vida	Reciclagem	Reciclagem	Reciclagem	Reciclagem
	Porcentagem recuperada	100%	100%	100%	100%
	Acabamento EduPack	<i>Electroplating</i>	n/a	n/a	n/a
	Quantidade	0,001199 m ²	n/a	n/a	n/a
Transporte	Transporte	n/a	n/a	n/a	n/a
Uso	Vida do produto	5 anos	5 anos	5 anos	5 anos
	Matriz energética de uso	Brasil	Brasil	Brasil	Brasil
	Tipo de uso de energia	Modo estático	Modo estático	Modo estático	Modo estático
	Entrada e saída de energia	Elétrica para mecânica	Elétrica para mecânica	Elétrica para mecânica	Elétrica para mecânica
	Potência	10,31 W	10,06 W	10,25 W	10,55
	Dias por ano	200	200	200	200
	Horas por dia	0,0763	0,0958	0,0884	0,0727

A Figura 4.40 apresenta graficamente os resultados obtidos para o consumo de energia ao longo da vida dos quatro materiais.

Figura 4.40 – Comparação de energia embutida do material original do rotor em relação aos materiais propostos



Verifica-se que todos os materiais propostos exigem maior consumo de energia para obtenção de sua matéria-prima do que o aço SAE 12L14, que atingiu em torno de 0,4 MJ. O PA6 apresentou acréscimo de aproximadamente 10%, já o PEEK e a Liga 6082 alcançaram quase o dobro de energia, por volta de 0,8 MJ.

Para a manufatura do componente, prevalecem os resultados do aço SAE 12L14 cromado, também de 0,4 MJ, em virtude do maior esforço de corte de usinagem somado ao seu posterior revestimento superficial. O PA6 exige menor nível energético por experimentar mais facilidade de usinagem, registrando aproximadamente 0,1 MJ, praticamente empatado com o PEEK. O alumínio Liga 6082 registra em torno de 0,2 MJ, metade da energia do SAE 12L14 cromado.

Novamente os valores para o transporte são nulos, conforme explicado na simulação anterior.

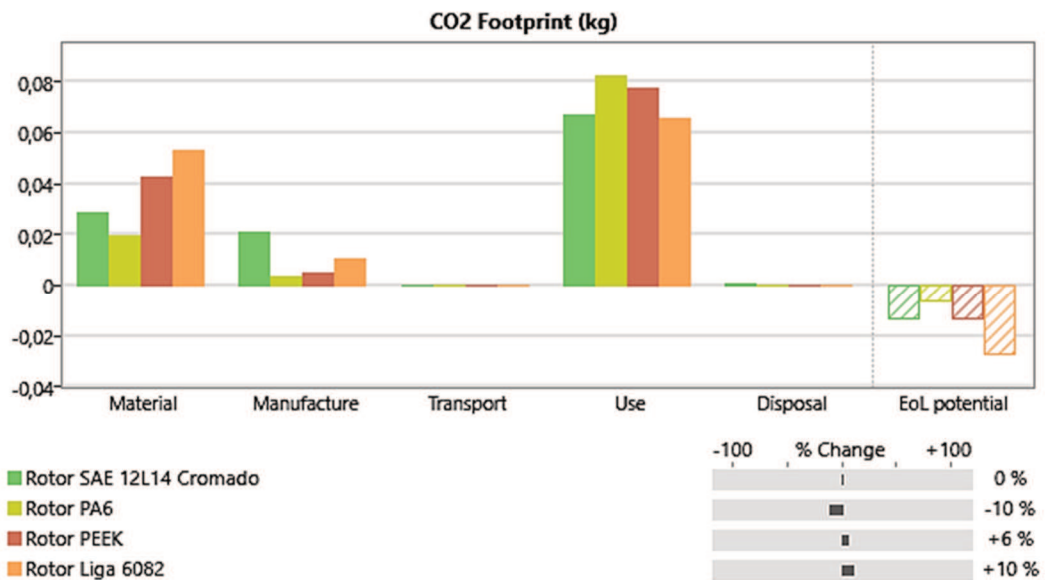
Os resultados para o uso, diferentemente da simulação anterior, apresentam valores independentes, uma vez que puderam ser computados pelas medidas na bancada experimental. É possível observar que neste cenário, é o parâmetro de maior influência para o balanço global, podendo chegar até cinco vezes mais que a energia da matéria-prima. Trivialmente, os resultados de cada material são proporcionais às potências elétricas e eficiência volumétrica das bombas, medidas anteriormente, onde o menor consumo de energia é encontrado no rotor de alumínio Liga 6082, registrando aproximadamente 3,7 MJ. Na sequência, o rotor original, de

SAE 12L14 cromado, com aproximadamente 3,8 MJ, depois o PEEK com 4,3 MJ e, finalmente, o rotor de PA6, que totaliza 4,7 MJ, 27% a mais que o rotor de alumínio.

O balanço energético global mostra que o rotor original, de aço cromado, apresenta-se com o menos impactante ambientalmente. Contudo, o rotor de alumínio registra aumento de apenas 4% no impacto, por ter bons resultados de dissipação de energia no uso. Já os rotores de PA6 e PEEK, apontam piora de 14% e 17%, respectivamente, em relação ao rotor de aço.

Os resultados de CO_2 equivalente são ilustrados pela Figura 4.41.

Figura 4.41 – Comparação de emissão de CO_2 equivalente do material original do rotor em relação aos materiais propostos



Na categoria material, o mais impactante ambientalmente é o rotor de alumínio Liga 6082 com, aproximadamente, 0,05 kg de CO_2 , 150% pior que o PA6, de melhor desempenho, que registra 0,02 kg de CO_2 . O rotor de aço cromado foi o segundo menos impactante, com aproximadamente 0,03 kg CO_2 , seguido pelo PEEK que registra por volta de 0,04 kg de CO_2 .

Para a categoria manufatura, novamente o maior impacto ambiental provém do rotor de aço cromado, creditado a seu revestimento superficial, totalizando 0,02 kg de CO_2 . O rotor de alumínio apresenta redução de 50%, seguido do PEEK com 75% e, finalmente, PA6 com aproximadamente 80% de redução, posicionando-se com o menos impactante.

Quanto a emissão de CO_2 em relação ao uso, os resultados seguem o mesmo comportamento explicado para o consumo energético da Figura 4.45, ou seja, mesmas diferenças percentuais entre si. Neste contexto, o material de maior impacto ambiental continuou sendo o PA6, com emissão de aproximadamente 0,08 kg de CO_2 .

No balanço final para a emissão de CO_2 , o SAE 12L14 cromado perde o posto de menos impactante ambientalmente para o PA6, por este apresentar 10% de melhora. O pior resultado foi do rotor de alumínio Liga 6082 que, em relação ao PA6, registra 20% mais impacto e, o PEEK 16%.

4.8 CUSTOS

O custo do rotor foi avaliado segundo a matéria-prima, processo de usinagem, e revestimento de superfície, que somados, formam o custo total para cada material.

Os quatro materiais utilizam barras redondas como matéria-prima para posterior usinagem. O custo deste material foi obtido na ocasião da compra para fabricação dos respectivos corpos de prova utilizados neste trabalho.

Através do valor por unidade de massa e a massa de cada rotor, encontra-se o valor de cada componente. O aço registra o menor valor por quilograma. Contudo, seus rotores não são os mais baratos, por apresentarem as maiores massas por conta da maior densidade. Os polímeros ocupam os dois extremos de valor final entre os materiais, sendo o menor valor do PA e o PEEK o maior. Este, numa proporção mais de 100 vezes maior, por se tratar de um polímero de alto desempenho, embora não tenha se mostrado eficiente aplicado ao rotor em questão. E, o alumínio, posicionou-se como terceiro na escala crescente de custo.

Os custos do processo de usinagem englobam a energia elétrica e os insumos, sendo estes, as ferramentas, insertos de usinagem e o fluido de corte. O custo das ferramentas e insertos, bem como sua respectiva produtividade para cada material, foram obtidos de acordo com os dados do processo de usinagem da empresa. A partir destes dados, encontra-se o custo destes insumos para cada rotor, que juntamente com o consumo de energia elétrica e de fluido de corte compõe o custo total de usinagem.

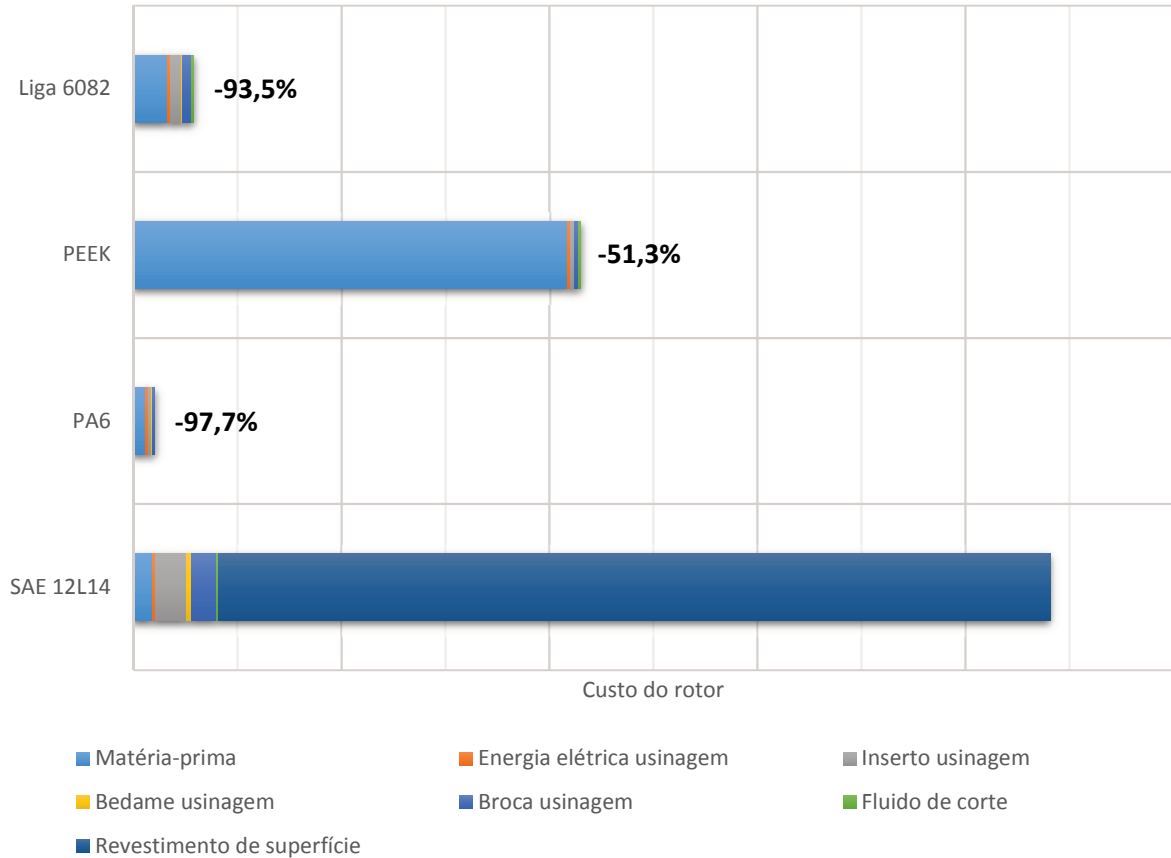
O custo do fluido de corte por rotor foi obtido através do valor de uma embalagem de 20 litros do produto, dividido por 15000 rotores, que representa a capacidade máxima de produção admitida por este volume de produto. Este valor foi aplicado igualmente aos três materiais que utilizaram este insumo: aço SAE 12L14, PEEK e alumínio Liga 6082.

O rotor de aço SAE 12L14 ainda sofre influência do custo do revestimento de superfície, neste caso uma fina camada de cromo eletrodepositado, enquanto os demais não recebem este tratamento superficial.

A Figura 4.42 ilustra a parcela de cada classe no custo no total. Rapidamente visualiza-se a participação de matéria-prima, insumos, energia e revestimento, em cada tipo de rotor.

Predomina a parcela relativa a matéria-prima nos rotores de alumínio Liga 6082, PEEK e PA6 e, o revestimento superficial de cromo, no rotor de aço SAE 12L14.

Figura 4.42 – Custo de cada rotor



O rotor de aço cromado registrou o maior custo, influenciado majoritariamente por seu revestimento. Seguindo em ordem decrescente, apresenta-se o rotor de PEEK, predominantemente por conta da matéria-prima, correspondendo uma redução de 51,3% em relação ao rotor de referência, aço cromado. Na sequência, o rotor de alumínio Liga 6082 experimenta drástica redução de custo, com valores equilibrados de matéria-prima e usinagem, resultando em 93,5% de economia. Por fim, o rotor de PA6 apresenta-se como o mais barato, 97,7% menor que o rotor original, colaborado pelo baixo custo da matéria-prima e do processo de usinagem.

4.9 COMPARAÇÃO QUALITATIVA DOS RESULTADOS PARA OS DIFERENTES MATERIAIS APLICADOS AO ROTOR

Um resumo qualitativo dos resultados encontrados é apresentado na Tabela 4.22 para ilustrar um panorama geral do trabalho realizado e facilitar a comparação de desempenho e seleção dos materiais estudados.

Tabela 4.17 – Comparação qualitativa dos diferentes materiais aplicados ao rotor da BCP

Descrição	SAE 12L14 cromado	PA6	PEEK	Liga 6082
Estabilidade dimensional no processo de usinagem atualmente utilizado	↑	↑↑↑	↑↑	↑↑↑↑
Resistência ao fluido de trabalho (colorante)	↑↑↑↑	↑↑	↑↑↑	↑↑↑↑
Desgaste de rotor (melhor desempenho)	↑↑↑↑	↑	↑↑	↑↑↑
Desgaste de estator (melhor desempenho)	↑	↑↑↑↑	↑↑↑	↑↑
Curva característica da BCP (vazão x pressão)	↑↑↑	↑	↑↑	↑↑↑↑
Consumo elétrico da BCP (melhor desempenho)	↑↑↑	↑	↑↑	↑↑↑↑
Consumo elétrico do processo de usinagem (melhor desempenho)	↑	↑↑↑↑	↑↑↑	↑↑
Energia específica de corte e usinagem (melhor desempenho)	↑↑	↑↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑
Eficiência volumétrica e global da BCP	↑↑↑	↑	↑↑	↑↑↑↑
Impacto ambiental (melhor desempenho)	↑↑↑	↑↑↑↑	↑↑	↑
Custo total (melhor desempenho)	↑	↑↑↑↑	↑↑	↑↑↑↑
Média qualitativa aproximada (melhor solução)	↑↑	↑↑↑	↑↑	↑↑↑↑

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos na fabricação dos corpos de prova, controle do processo de usinagem, funcionamento na bancada de testes experimental, aplicação de ferramentas ambientais e investigação dos custos permitem concluir que:

Os rotores de alumínio Liga 6082 apresentam a melhor estabilidade e exatidão dimensional em virtude da boa relação de sua dureza e módulo de elasticidade com os parâmetros e processo de usinagem por turbilhonamento atualmente utilizados.

Nenhum dos polímeros, PA6 e PEEK, dos rotores, e FKM, dos estatores, registrou baixa resistência, em forma de absorção de fluido, ao colorante utilizado, não sendo um fator limitante para a aplicação em questão.

Há uma relação de desgaste entre os estatores e rotores: quanto maior a dureza e módulo de elasticidade do rotor, menor o seu desgaste, maior o desgaste do estator, e vice-versa. O maior desgaste de rotor registra-se para o PA6 e o menor para o aço SAE 12L14 cromado, onde encontra-se o menor e maior desgaste de estator, respectivamente.

Os quatro materiais estudados para o rotor, embora de propriedades mecânicas muito distintas, atendem as exigências do ponto de vista de durabilidade no cenário de aplicação na indústria tintométrica, não apresentando falha de inviabilidade funcional do equipamento ao final do período de testes, ou seja, perda de estanqueidade em repouso. Outrossim, não foi identificado desgaste significativo nos pares estator-rotor, evidenciando que o tempo de vida mínimo não desafia a integridade dos componentes.

As BCPs montadas com rotor de alumínio Liga 6082 registram o melhor desempenho de vazão em relação a pressão, superando inclusive o rotor atual de aço cromado, creditado a sua estabilidade dimensional, módulo de elasticidade suficiente para ser considerado indeformável em relação ao estator e bom acabamento superficial. Já os rotores de PA6 reproduzem as piores entregas de vazão e recalque à BPC estudada.

Não há diferença significativa de potência elétrica entre os quatro rotores. Entretanto, devido as diferenças de vazão e, conseqüentemente, eficiência volumétrica, a energia elétrica experimenta menor consumo para o alumínio Liga 6082 e maior para o PA6, cuja diferença ficou em 22,5%.

O processo de usinagem apresenta maior potência e consumo de energia para o aço SAE 12L14 pela superioridade de suas propriedades mecânicas que exprimem maior esforço de corte. O mesmo comportamento ocorre para a energia específica de turbilhonamento e

usinagem, que registra maior valor para este material e menor para o PA6. Portanto, o rotor de polímero PA6 apresenta menor consumo de energia elétrica para fabricação.

Para a eficiência energética das BCPs aponta-se o rotor de alumínio Liga 6082 como melhor material, traduzindo-se em economia de energia elétrica e desempenho através de vazão e pressão produzidas. Enquanto o rotor de PA6 enquadra-se como menos eficiente energeticamente para a bomba.

O estudo para aplicação da metodologia P+L para o processo de fabricação do rotor alavancou uma série de oportunidades de redução de impacto ambiental que possibilitam o atendimento a políticas ambientais para os quatro materiais. Verificou-se maior relevância através do manejo de fluidos de corte, para os níveis 1 e 2 da estrutura. Contudo, exige investimento inicial para instalação de um sistema de reciclagem do mesmo. O PA6 mostrou-se como o melhor material, do ponto de vista de impacto ambiental no processo de usinagem, devido a utilização de usinagem a seco.

A AICV aponta o rotor original de aço cromado como menos impactante ambientalmente comparado aos rotores tradicionalmente utilizados e aos três materiais propostos neste estudo. Destes, o polímero PA6 e o alumínio Liga 6082 registram leve aumento no impacto, sendo boas alternativas no caso de substituição.

A avaliação das duas ferramentas de gestão ambiental propõe que a melhor solução ambiental entre os quatro materiais estudados é o rotor de PA6, por apresentar pequena diferença em relação ao aço cromado na AICV e ser o único capaz de usinabilidade a seco, eliminando os problemas com o fluido de corte.

Os custos dos rotores atingem níveis completamente diferentes, inferiores ao original de aço SAE 12L14 revestido de cromo. O rotor de PEEK registra uma redução de 51,3% no valor final e os rotores de alumínio Liga 6082 e PA6 de mais de 93%, onde este, atinge impressionantes 97,7% de redução, sendo o mais barato entre os quatro.

Diante das conclusões pontuais explanadas, percebe-se que os rotores de Liga 6082 e PA6 intercalam-se como melhor alternativa para o aço cromado atual. De modo geral, conclui-se que a melhor solução de desempenho e eficiência energética, para a bomba, é o rotor de alumínio Liga 6082. Entretanto, para a eficiência energética do processo de fabricação, impacto ambiental e custo, é o rotor de PA6.

Como o desgaste, nesta aplicação, não limitou o uso de nenhum dos materiais propostos e, baseando-se na pequena diferença de custo entre Liga 6082 e PA6, conclui-se como melhor alternativa para o rotor atualmente utilizado (aço cromado) é o Liga 6082, por representar na bomba vazão igual ou superior ao rotor de aço cromado, não trazendo impacto cultural na

operação do equipamento. Já que a utilização de rotores de PA6 reduziria a produtividade do equipamento em aproximadamente 18%.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros sugere-se avaliar o desgaste do par estator-rotor através de fluidos de diferentes concentrações de partículas sólidas e a consequente variação de eficiência da BCP ao longo de seu tempo real de uso.

Também se propõe avaliar o desempenho, desgaste, eficiência energética e impacto ambiental para diferentes materiais de estatores, ao longo do tempo de uso da BCP, similarmente como foi feito com diferentes materiais de rotores neste trabalho.

Sugere-se estudar a influência da temperatura do local de trabalho na eficiência energética e durabilidade do equipamento.

Explorar os parâmetros influentes no torque de partida de uma BCP. A significância do material do rotor e estator nesta questão, para possível redução da potência de acionamento e, conseqüentemente, menor consumo elétrico.

Propõe-se ainda estudar a eficiência energética de novos processos de fabricação no contexto da indústria 4.0 e manufatura aditiva para o rotor e o estator.

REFERÊNCIAS

- AAGE, Niels et al. **Mathematical problems for Moineau pumps**. [S.l.], 2006.
- ANÁLISE Setorial da Indústria de Tintas. **Panorama Setorial da Gazeta Mercantil**. Gazeta Mercantil, jun. 1998.
- ANDRADE, Selma F.; VALÉRIO, Juliana V.; CARVALHO, Márcio S. **Asymptotic Approach For Modelling Progressive**. Buenos Aires: Asociación Argentina de Mecánica Computacional, 2010.
- ARAÚJO, Alexandre Feller de. **Aplicação da metodologia de produção mais limpa**: estudo em uma empresa do setor de construção civil. 2002. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002
- AZEVEDO, Victor Wagner Freir de. **Simulação do escoamento multifásico no interior de bombas de cavidades progressivas metálicas**. 2012. 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.
- CASTRO, Richard de Medeiros. **Avaliação das propriedades de superfície e do comportamento ao desgaste abrasivo de hastes de cilindros hidráulicos revestidas pelos processos HVOF e cromo duro eletrodepositado**. Porto Alegre, 96 p., 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- CHAPARRO FONSECA, Erwin. **Efecto del corte de agua y la viscosidad del fluido de produccion en la eficiencia volumetrica de las bombas de cavidades progresivas**. 2018. 165 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Petróleo) – Escuela de Ingeniería de Petróleos, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2008.
- CHEN, Jie et al. Numerical prediction on volumetric efficiency of progressive cavity pump with fluid–solid interaction model. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, Amsterdã, v. 109, p. 12-17, set. 2013.
- FERREIRA, Dilson. **Máquinas tintométricas**: benefícios para o setor e para a sustentabilidade. [São Paulo], 2015. Disponível em: <<http://www.abrafati.com.br/noticias-e-artigos/artigos/maquinas-tintometricas-beneficios-para-o-setor-e-para-a-sustentabilidade/>>. Acesso em: 29 jan. 2018.
- GAMBOA, Jose et al. Understanding the performance of progressive cavity pump with a metallic stator. **Proceedings of The Twentieth International Pump Users Symposium**. Los Teques. 2003.
- GELTINT. [S.l.], 2018. Disponível em: <<http://www.geltint.com/>>. Acesso em: 2 abr. 2018.
- GRADIN, Katja T.; ÅSTRÖM, Anna H. Evaluation of an Eco Audit tool - through an LCA of a novel car disc brake. **Proceedings of NordDesign**. Linköping, Suécia. 2018
- GRAVESEN, Jens. **The geometry of the Moineau pump**. [S.l.], 2008. Department of Mathematics, Technical University of Denmark, 2008.

HENN, Érico Antônio Lopes. **Máquinas de Fluido**. 2. ed. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2006. p. 421-422.

KATO, Koji; ADACHI, Koshi. Wear Mechanisms, In: BHUSHAN, Bharat. **Modern Tribology Handbook**. Columbus: CRC Press, 2000. p. 273-299.

KWIETNIEWSKI, Carlos Eduardo Fortis; KISS, Francisco José. **Metalografia e tratamentos térmicos de aços e ferros fundidos**. 3. ed. Porto Alegre: Gráfica UFRGS, 2011.

LIMA, Tatiana Chaves Fontes. **Estudo da utilização de briquetes de matéria prima na produção de carbureto de silício**. 2011. 109 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011

LINHARES, Henrique. **16 melhores sistemas tintométricos do Brasil: Máquinas tintométricas mais vendidas no Brasil**. [São Paulo], 2018. Disponível em: <<http://sohelices.com.br/16-melhores-sistemas-tintometricos-do-brasil/>>. Acesso em: 29 jan. 2018.

LIU, Z. Y. et al. Cumulative energy demand and environmental impact in sustainable machining of inconel superalloy. **Journal of Cleaner Production**, Amesterdã, v. 181, p. 329-336, 2018.

MARQUES, André C. Sustainability in Design Education: Introduction of Life Cycle Assessment (LCA). **The 3rd World Sustainability Forum**. 2013

MEDEIROS, Denise Dumke de et al. Aplicação da Produção mais Limpa em uma empresa como ferramenta de melhoria contínua. **Prod.**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 109-128, jan./abr. 2007. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=396742029008/>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

MELLO, Maria Celina Abreu de; NASCIMENTO, Luiz Felipe. Produção Mais Limpa: um impulso para inovação e a obtenção de vantagens competitivas. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENGEPP, 22., 2002, Curitiba. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO), 2002.

MENDES, Natalia Crespo; BUENO, Cristiane; OMETTO, Aldo Roberto. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos. **Prod.**, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 160-175, mar. 2016. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132016000100160&lng=pt&nrm=iso/>. Acesso em: 25 abr. 2018.

MOHAN, L. V.; SHUNMUGAM, M. S. Simulation of whirling process and tool profiling for machining of worms. **Journal of Materials Processing Technology**, Amesterdã, v. 185, p. 191-197, 2007.

MONFARDINI, Lucélia. Sistemas Tintométricos e Colorantes: Automatização consolidada. **Revista Paint & Pintura**, São Paulo, ed. 179, p. 70-71, jul. 2013.

NASCIMENTO, Ivaldo Assis do, BAPTISTA, André Luís de Brito. **Desgaste**. [S.l., 2018?]. Disponível em <<http://www.spectru.com.br/Metalurgia/diversos/desgaste.pdf/>>. Acesso em: 09 ago. 2017.

NGUYEN, T. et al. Simulation of single-phase liquid flow in Progressing Cavity Pump. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, Amesterdã, v. 147, p. 617-623, 2016.

O VERDADEIRO turbilhonamento de rosca. **Decomagazine**, [S.l.], 2013. Disponível em <<http://www.decomag.ch/pdf/2013/tornos-dmag-201303066-too-ntk-thread-whirling-br.pdf/>>. Acesso em: 04 fev. 2018.

OLIVEIRA, João Fernando Gomes de; ALVES, Saete Martins. Adequação ambiental dos processos de usinagem utilizando Produção mais Limpa como estratégia de gestão ambiental. **Prod.**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 129-138, jan./abr. 2007.

OLMEZ, Gulnur Maden et al. The environmental impacts of iron and steel industry: a life cycle assessment study. **Journal of Cleaner Production**, Amesterdã, v. 130, p. 195-201, 2016. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.139/>>. Acesso em: 25 abr. 2018.

ORCHARD, Bryan. Performance factors for progressing cavity pumps. **World Pumps**, Amesterdã, ed. 467, p. 36-38, 2005.

PALADINO, E.E. et al. Computational Modeling of the Three-Dimensional Flow in a Metallic Stator Progressing Cavity Pump. **SPE Progressing Cavity Pumps Conference**, Houston, Texas. 2008.

PERCOLORE. [São Leopoldo], 2018. Disponível em: <<http://www.percolore.com/>>. Acesso em: 3 mar. 2018.

PESSOA, Paulo Alisson Sousa. **Simulação computacional do escoamento em bombas de cavidades progressivas**. 2009. 86 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009

PIRES, André P. A. L. **Análise de ciclo de vida de cápsulas de café**. 2018, 60 p. Monografia (Bacharel em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018

REBITZER, G. et al. Life cycle assessment - Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. **Environment International**, Amesterdã, v. 30, p. 701-720, 2004.

RIGATTI, Aldo Marcel Yoshida. **Avaliação da Força de Usinagem e Energia Específica de Corte no Fresamento com Alta Velocidade de Corte**. 2010. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia – UNESP – Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2010.

SERIZAWA, Masaki; MATSUMURA, Takashi. Control of Helical Blade Machining in Whirling. **Proceedings of the North American Manufacturing**, 44. Amesterdã. 2016. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2016.08.035/>>. Acesso em: 30 mar. 2018.

SILVA, Rodrigo Portavales. **Estudo do processamento e microestrutura do carbeto de silício ligado por reação**. 2009. 62 p. Monografia (Bacharel em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009

SONG, Shu-quan; ZUO, Dun-wen. Modelling and simulation of whirling process based on equivalent cutting volume. **Simulation Modelling Practice and Theory**, Amesterdã, v. 42, p. 98-106, 2014.

SOUZA, Andre João. **Processos de Fabricação por Usinagem**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SOUZA, R. C. et al. Carbetto de tungstênio – Uma alternativa ao cromo duro eletrodepositado. In: Jornadas SAM 2000 - Colóquio Latinoamericano de Fractura y Fatiga, 4., 2000, [S.l.]. **Anais eletrônicos...** [S.l.], 2000.

TAKIMI, Antônio; POSSAMAI, Lisiane; BERGMANN, Carlos Pérez. Revestimentos depositados por aspersão térmica hipersônica (HVOF) como alternativa ao cromo duro. In: Salão de Iniciação Científica, 14., 2002, Porto Alegre. **Anais eletrônicos...** Livro de resumos. Porto Alegre: UFRGS, 2002. Disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/76645/>>. Acesso em: 09 ago. 2017.

TINTAS E VERNIZES. CPS Color comemora 20 anos no Brasil. [S.l.], 2013. Disponível em: <<http://www.tintasevernizes.com.br/interna?noticia=472>>. Acesso em: 14 jan. 2018.

TONGPOOL, Rungnapa et al. Analysis of steel production in Thailand: Environmental impacts and solutions. **Energy**, Amesterdã, v. 35, p. 4192-4200, 2010.

VAZQUEZ, Arthur D.; DUTRA, Júlio César. Estudo preliminar da auditoria ecológica de um redutor. **VII Simpósio de Iniciação Científica, Didática e de Ações Sociais da FEI**. São Bernardo do Campo. 2017

WERNER, Eveline de Magalhães; BACARJI, Alencar Garcia; HALL, Rosemar José. Produção Mais Limpa: Conceitos e Definições Metodológicas. In: **Anais...** Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia SEGeT, 2009.

WHITTAKER, Lucy Victoria. **Evaluation and analysis of wear in progressive cavity pumps**. 2003. 194 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – The University of Hull, Hull, 2003.

ZANGER, Frederik et al. Comparison of modeling methods to determine cutting tool profile for conventional and synchronized whirling. In: CIRP Conference on Modeling of Machining Operations, 16., 2017, [S.l.]. **Anais eletrônicos...** Procedia CIRP, v. 58, p. 222-227, 2017. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.216/>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

ZAPAROLLI, Domingos. **Sistema tintométrico - preço e despreparo dos lojistas dificultam crescimento das vendas**. [S.l.], 2009. Disponível em: <<https://www.quimica.com.br/sistema-tintometrico-preco-e-despreparo-dos-lojistas-dificultam-crescimento-das-vendas/>>. Acesso em: 29 jan. 2018.

APÊNDICE A – AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE USINAGEM DOS ROTORES

Resultados detalhados da avaliação do processo de usinagem dos rotores.

Energia elétrica torno CNC							
Material	Componente	Medidas				Energia (Wh)	Energia (kWh)
		Corrente (A)	Tensão (V)	Potência (W)	Tempo (s)		
SAE 12L14	Eixo árvore	1,00	220	220	113	6,91	0,006906
	Eixo z	0,80	220	176	102	4,99	0,004987
	Eixo x	0,30	220	66	48	0,88	0,000880
	Turbilhoador	1,60	220	352	102	9,97	0,009973
	Furadeira	1,60	220	352	28	2,74	0,002738
	Fluido de corte	0,30	380	114	153	4,85	0,004845
	Lub. barramento	0,30	380	114	5	0,16	0,000158
	Fonte 24V	2,00	220	440	153	18,70	0,018700
	Compressor	12,00	220	2640	10	7,33	0,007333
	Computador	1,50	220	330	153	14,03	0,014025
		Total					70,55
PA6	Eixo árvore	0,95	220	209	113	6,56	0,006560
	Eixo z	0,65	220	143	102	4,05	0,004052
	Eixo x	0,20	220	44	48	0,59	0,000587
	Turbilhoador	1,05	220	231	102	6,55	0,006545
	Furadeira	1,10	220	242	28	1,88	0,001882
	Fluido de corte	0,00	0	0	0	0,00	0,000000
	Lub. barramento	0,30	380	114	5	0,16	0,000158
	Fonte 24V	2,00	220	440	153	18,70	0,018700
	Compressor	12,00	220	2640	10	7,33	0,007333
	Computador	1,50	220	330	153	14,03	0,014025
		Total					59,84
PEEK	Eixo árvore	0,95	220	209	113	6,56	0,006560
	Eixo z	0,70	220	154	102	4,36	0,004363
	Eixo x	0,25	220	55	48	0,73	0,000733
	Turbilhoador	1,25	220	275	102	7,79	0,007792
	Furadeira	1,30	220	286	28	2,22	0,002224
	Fluido de corte	0,30	380	114	153	4,85	0,004845
	Lub. barramento	0,30	380	114	5	0,16	0,000158
	Fonte 24V	2,00	220	440	153	18,70	0,018700
	Compressor	12,00	220	2640	10	7,33	0,007333
	Computador	1,50	220	330	153	14,03	0,014025
		Total					66,73
Alumínio Liga 6082	Eixo árvore	0,95	220	209	113	6,56	0,006560
	Eixo z	0,70	220	154	102	4,36	0,004363
	Eixo x	0,25	220	55	48	0,73	0,000733
	Turbilhoador	1,30	220	286	102	8,10	0,008103
	Furadeira	1,35	220	297	28	2,31	0,002310
	Fluido de corte	0,30	380	114	153	4,85	0,004845
	Lub. barramento	0,30	380	114	5	0,16	0,000158
	Fonte 24V	2,00	220	440	153	18,70	0,018700
	Compressor	12,00	220	2640	10	7,33	0,007333
	Computador	1,50	220	330	153	14,03	0,014025
		Total					67,13

APÊNDICE B – AVALIAÇÃO DAS BCPS NA BANCADA EXPERIMENTAL

Rotor	Bomba			Fluido		Bico Ø2 mm												
	n°	Uso (rev)	Uso (h)	Q nom (ml/min)	Temp. (°C)	ρ (g/ml)	P (bar)	Massa (g)	Q real (ml/min)	DCA (A)	DCV (V)	P total (Watt)	P vol (Watt)	P lift (Watt)	P mec (Watt)	η vol	η mec	η total
SAE 12L14 Cromado	1	0,0E+00	0,0	279,399	19	1,433	2,4	81,500	227,527	0,87	11,80	10,27	0,91	0,21	9,15	81,43%	10,89%	8,87%
		1,0E+05	4,2		19	1,435	2,4	81,798	227,945	0,86	11,80	10,15	0,91	0,21	9,03	81,58%	11,01%	8,98%
		2,0E+05	8,3		19	1,437	2,4	81,267	226,213	0,86	11,80	10,15	0,90	0,21	9,03	80,96%	11,01%	8,92%
		5,0E+05	20,8		20	1,432	2,1	79,730	222,741	0,85	11,80	10,03	0,78	0,20	9,05	79,72%	9,75%	7,77%
		7,5E+05	31,3		19	1,436	2,5	80,970	225,559	0,88	11,80	10,38	0,94	0,22	9,22	80,73%	11,21%	9,05%
		1,0E+06	41,7		20	1,420	2,3	78,975	222,402	0,88	11,80	10,38	0,85	0,22	9,31	79,60%	10,31%	8,21%
	2	0,0E+00	0,0	280,213	19	1,437	2,2	78,898	219,558	0,86	11,80	10,15	0,81	0,22	9,12	78,35%	10,12%	7,93%
		1,0E+05	4,2		20	1,429	2,2	78,033	218,433	0,86	11,80	10,15	0,80	0,23	9,12	77,95%	10,12%	7,89%
		2,0E+05	8,3		19	1,432	2,2	78,505	219,288	0,85	11,80	10,03	0,80	0,22	9,00	78,26%	10,24%	8,02%
		5,0E+05	20,8		19	1,434	2,2	78,713	219,550	0,87	11,80	10,27	0,81	0,22	9,24	78,35%	10,01%	7,84%
		7,5E+05	31,3		20	1,433	2,1	78,104	217,967	0,84	11,80	9,91	0,76	0,22	8,93	77,79%	9,89%	7,70%
		1,0E+06	41,7		19	1,433	2,2	77,165	215,334	0,85	11,80	10,03	0,79	0,24	9,00	76,85%	10,24%	7,87%
	3	0,0E+00	0,0	272,860	19	1,435	2,5	80,920	225,555	0,90	11,80	10,62	0,94	0,20	9,48	82,66%	10,71%	8,85%
		1,0E+05	4,2		20	1,439	2,5	80,642	224,136	0,89	11,80	10,50	0,93	0,20	9,37	82,14%	10,83%	8,89%
		2,0E+05	8,3		19	1,438	2,5	80,012	222,509	0,88	11,80	10,38	0,93	0,21	9,25	81,55%	10,95%	8,93%
		5,0E+05	20,8		20	1,444	2,6	80,712	223,560	0,88	11,80	10,38	0,97	0,21	9,20	81,93%	11,39%	9,33%
		7,5E+05	31,3		20	1,441	2,5	79,023	219,380	0,87	11,80	10,27	0,91	0,22	9,13	80,40%	11,07%	8,90%
		1,0E+06	41,7		19	1,417	2,2	77,376	218,397	0,89	11,80	10,47	0,80	0,20	9,47	80,04%	9,56%	7,65%
	4	0,0E+00	0,0	291,465	19	1,437	2,1	82,238	228,916	0,88	11,80	10,38	0,80	0,22	9,36	78,54%	9,82%	7,72%
		1,0E+05	4,2		20	1,428	2,1	82,133	230,064	0,87	11,80	10,27	0,81	0,21	9,25	78,93%	9,94%	7,84%
		2,0E+05	8,3		20	1,434	2,2	82,402	229,852	0,87	11,80	10,27	0,84	0,23	9,20	78,86%	10,41%	8,21%
		5,0E+05	20,8		19	1,433	2,2	82,413	230,043	0,87	11,80	10,27	0,84	0,23	9,20	78,93%	10,41%	8,22%
		7,5E+05	31,3		20	1,433	2,1	82,104	229,130	0,87	11,80	10,27	0,80	0,22	9,25	78,61%	9,94%	7,81%
		1,0E+06	41,7		19	1,436	2,2	81,663	227,474	0,87	11,80	10,27	0,83	0,23	9,20	78,04%	10,41%	8,12%
	5	0,0E+00	0,0	279,974	19	1,429	2,2	78,999	221,131	0,86	11,80	10,15	0,81	0,22	9,12	78,98%	10,12%	7,99%
		1,0E+05	4,2		19	1,425	2,2	78,722	220,974	0,86	11,80	10,15	0,81	0,22	9,12	78,93%	10,12%	7,98%
		2,0E+05	8,3		20	1,431	2,1	78,705	220,000	0,85	11,80	10,03	0,77	0,21	9,05	78,58%	9,77%	7,68%
		5,0E+05	20,8		19	1,433	2,2	78,713	219,715	0,85	11,80	10,03	0,81	0,22	9,00	78,48%	10,24%	8,03%
7,5E+05		31,3	20		1,433	2,1	78,424	218,878	0,85	11,80	10,03	0,77	0,21	9,05	78,18%	9,77%	7,64%	
1,0E+06		41,7	20		1,428	2,2	77,739	217,756	0,85	11,80	10,03	0,80	0,23	9,00	77,78%	10,24%	7,96%	
6	0,0E+00	0,0	272,753	19	1,435	2,5	80,920	225,555	0,89	11,80	10,50	0,94	0,20	9,37	82,70%	10,82%	8,95%	
	1,0E+05	4,2		19	1,439	2,5	80,642	224,136	0,89	11,80	10,50	0,93	0,20	9,37	82,18%	10,82%	8,89%	
	2,0E+05	8,3		20	1,438	2,5	80,012	222,509	0,88	11,80	10,38	0,93	0,21	9,25	81,58%	10,94%	8,93%	
	5,0E+05	20,8		20	1,444	2,4	80,712	223,560	0,88	11,80	10,38	0,89	0,20	9,29	81,96%	10,51%	8,61%	
	7,5E+05	31,3		20	1,441	2,5	79,023	219,380	0,88	11,80	10,38	0,91	0,22	9,25	80,43%	10,94%	8,80%	
	1,0E+06	41,7		20	1,417	2,4	77,376	218,397	0,89	11,80	10,47	0,87	0,22	9,38	80,07%	10,42%	8,35%	
Média	0,0E+00	0,0	279,444	19	1,434	2,3	80,579	224,707	0,88	11,80	10,34	0,87	0,21	9,27	80,44%	10,41%	8,38%	
	1,0E+05	4,2		20	1,433	2,3	80,328	224,281	0,87	11,80	10,29	0,87	0,21	9,21	80,29%	10,47%	8,42%	
	2,0E+05	8,3		20	1,435	2,3	80,151	223,395	0,87	11,80	10,21	0,86	0,22	9,13	79,96%	10,55%	8,45%	
	5,0E+05	20,8		20	1,437	2,3	80,166	223,195	0,87	11,80	10,23	0,85	0,21	9,16	79,90%	10,38%	8,30%	
	7,5E+05	31,3		20	1,436	2,3	79,608	221,716	0,87	11,80	10,21	0,85	0,22	9,14	79,36%	10,47%	8,32%	
	1,0E+06	41,7		20	1,425	2,3	78,382	219,960	0,87	11,80	10,27	0,82	0,22	9,23	78,73%	10,20%	8,03%	
	Média				19	1,433	2,3	79,869	222,876	0,87	11,80	10,26	0,85	0,21	9,19	79,78%	10,42%	8,32%

Rotor	Bomba			Fluido		Bico Ø2 mm												
	n°	Usa (rev)	Usa (h)	Q nom (ml/min)	Temp. (°C)	ρ (g/ml)	P (bar)	Massa (g)	Q real (ml/min)	DCA (A)	DCV (V)	P total (Watt)	P vol (Watt)	P lift (Watt)	P mec (Watt)	η vol	η mec	η total
Poliámda 6	7	0,0E+00	0,0	286,345	20	1,435	2,0	51,851	144,516	0,93	11,80	10,97	0,48	0,45	10,04	50,47%	8,70%	4,39%
		1,0E+05	4,2		20	1,442	1,9	52,138	144,591	0,88	11,80	10,38	0,46	0,43	9,50	50,50%	8,73%	4,41%
		2,0E+05	8,3		19	1,445	2,0	52,637	145,676	0,87	11,80	10,27	0,49	0,45	9,33	50,87%	9,30%	4,73%
		5,0E+05	20,8		19	1,445	2,0	53,572	148,272	0,86	11,80	10,15	0,49	0,44	9,22	51,78%	9,41%	4,87%
		7,5E+05	31,3		19	1,445	1,9	52,809	146,168	0,85	11,80	10,03	0,46	0,42	9,15	51,05%	9,04%	4,61%
		1,0E+06	41,7		19	1,445	1,9	53,122	147,030	0,85	11,80	10,03	0,47	0,42	9,15	51,35%	9,04%	4,64%
	8	0,0E+00	0,0	278,418	19	1,440	2,4	72,900	202,449	0,84	11,80	9,91	0,81	0,31	8,79	72,71%	11,24%	8,17%
		1,0E+05	4,2		20	1,439	2,3	72,770	202,246	0,83	11,80	9,79	0,78	0,30	8,72	72,64%	10,90%	7,92%
		2,0E+05	8,3		19	1,440	2,4	72,677	201,903	0,83	11,80	9,79	0,81	0,31	8,68	72,52%	11,37%	8,25%
		5,0E+05	20,8		19	1,441	2,2	73,132	202,958	0,82	11,80	9,68	0,74	0,28	8,65	72,90%	10,55%	7,69%
		7,5E+05	31,3		19	1,442	2,2	73,229	203,171	0,83	11,80	9,79	0,74	0,28	8,77	72,97%	10,42%	7,61%
		1,0E+06	41,7		19	1,444	2,4	73,468	203,529	0,82	11,80	9,68	0,81	0,30	8,56	73,10%	11,51%	8,41%
	9	0,0E+00	0,0	283,958	19	1,423	2,0	69,262	194,704	0,85	11,80	10,03	0,65	0,28	9,10	68,57%	9,44%	6,47%
		1,0E+05	4,2		19	1,445	2,4	70,315	194,681	0,84	11,80	9,91	0,78	0,34	8,79	68,56%	11,46%	7,86%
		2,0E+05	8,3		19	1,435	2,4	69,929	194,859	0,85	11,80	10,03	0,78	0,34	8,91	68,62%	11,32%	7,77%
		5,0E+05	20,8		19	1,434	2,2	70,453	196,544	0,82	11,80	9,68	0,72	0,30	8,65	69,22%	10,76%	7,45%
		7,5E+05	31,3		19	1,440	2,2	69,764	193,762	0,86	11,80	10,15	0,71	0,31	9,12	68,24%	10,26%	7,00%
		1,0E+06	41,7		19	1,411	2,0	67,196	190,497	0,94	11,80	11,09	0,63	0,30	10,16	67,09%	8,53%	5,72%
	10	0,0E+00	0,0	285,014	20	1,423	2,4	66,891	188,039	0,86	11,80	10,15	0,75	0,37	9,03	65,98%	11,23%	7,41%
		1,0E+05	4,2		19	1,445	2,3	66,804	184,960	0,85	11,80	10,03	0,71	0,36	8,96	64,90%	10,89%	7,07%
		2,0E+05	8,3		20	1,435	2,4	66,601	185,585	0,85	11,80	10,03	0,74	0,38	8,91	65,11%	11,37%	7,40%
		5,0E+05	20,8		19	1,434	2,2	67,153	187,337	0,84	11,80	9,91	0,69	0,34	8,89	65,73%	10,54%	6,93%
		7,5E+05	31,3		19	1,440	2,2	67,221	186,699	0,84	11,80	9,91	0,68	0,34	8,89	65,51%	10,54%	6,91%
		1,0E+06	41,7		19	1,411	2,4	67,404	191,087	0,84	11,80	9,91	0,76	0,35	8,79	67,04%	11,50%	7,71%
11	0,0E+00	0,0	277,430	19	1,421	2,4	71,302	200,709	0,85	11,80	10,03	0,80	0,31	8,91	72,35%	11,06%	8,00%	
	1,0E+05	4,2		19	1,427	2,3	71,372	200,062	0,85	11,80	10,03	0,77	0,30	8,96	72,11%	10,60%	7,65%	
	2,0E+05	8,3		20	1,430	2,4	71,557	200,159	0,85	11,80	10,03	0,80	0,32	8,91	72,15%	11,06%	7,98%	
	5,0E+05	20,8		20	1,425	2,3	71,882	201,774	0,86	11,80	10,15	0,77	0,30	9,08	72,73%	10,48%	7,62%	
	7,5E+05	31,3		20	1,431	2,3	71,999	201,255	0,86	11,80	10,15	0,77	0,30	9,08	72,54%	10,48%	7,60%	
	1,0E+06	41,7		20	1,429	2,3	72,108	201,828	0,87	11,80	10,27	0,77	0,30	9,19	72,75%	10,36%	7,54%	
12	0,0E+00	0,0	287,088	20	1,438	2,1	62,601	174,134	0,92	11,80	10,86	0,61	0,37	9,88	60,66%	9,26%	5,61%	
	1,0E+05	4,2		19	1,440	2,0	62,238	172,883	0,89	11,80	10,50	0,58	0,36	9,57	60,22%	9,11%	5,49%	
	2,0E+05	8,3		19	1,441	2,1	62,479	173,432	0,88	11,80	10,38	0,61	0,37	9,41	60,41%	9,68%	5,85%	
	5,0E+05	20,8		20	1,439	2,1	63,222	175,739	0,88	11,80	10,38	0,62	0,36	9,41	61,21%	9,68%	5,92%	
	7,5E+05	31,3		20	1,438	2,0	63,209	175,825	0,87	11,80	10,27	0,59	0,35	9,33	61,24%	9,32%	5,71%	
	1,0E+06	41,7		19	1,440	2,0	63,365	176,014	0,87	11,80	10,27	0,59	0,34	9,33	61,31%	9,32%	5,72%	
Média	0,0E+00	0,0	283,042	20	1,430	2,2	65,801	184,092	0,88	11,80	10,33	0,68	0,35	9,29	65,12%	10,15%	6,68%	
	1,0E+05	4,2		19	1,440	2,2	65,940	183,237	0,86	11,80	10,11	0,68	0,35	9,08	64,82%	10,28%	6,73%	
	2,0E+05	8,3		19	1,438	2,3	65,980	183,602	0,86	11,80	10,09	0,70	0,36	9,03	64,95%	10,68%	7,00%	
	5,0E+05	20,8		19	1,436	2,2	66,569	185,437	0,85	11,80	9,99	0,67	0,34	8,98	65,59%	10,24%	6,75%	
	7,5E+05	31,3		19	1,439	2,1	66,372	184,480	0,85	11,80	10,05	0,66	0,34	9,06	65,26%	10,01%	6,57%	
	1,0E+06	41,7		19	1,430	2,2	66,111	184,998	0,87	11,80	10,21	0,67	0,34	9,20	65,44%	10,04%	6,62%	
	Média			19	1,436	2,2	66,129	184,308	0,86	11,80	10,13	0,68	0,35	9,11	65,20%	10,24%	6,72%	

Rotor	Bomba			Fluido		Bico Ø2 mm												
	n°	Usa (rev)	Usa (h)	Q,nom (ml/min)	Temp. (°C)	ρ (g/ml)	P (bar)	Massa (g)	Q real (ml/min)	DCA (A)	DCV (V)	P total (Watt)	P vol (Watt)	P lift (Watt)	P mec (Watt)	η vol	η mec	η total
PEEK	13	0,0E+00	0,0	285,957	19	1,437	2,1	67,972	189,237	0,92	11,80	10,86	0,66	0,32	9,88	66,18%	9,22%	6,10%
		1,0E+05	4,2		19	1,444	2,2	67,714	187,615	0,86	11,80	10,15	0,69	0,34	9,12	65,61%	10,33%	6,78%
		2,0E+05	8,3		19	1,442	2,3	68,176	189,178	0,85	11,80	10,03	0,73	0,35	8,96	66,16%	10,93%	7,23%
		5,0E+05	20,8		19	1,445	2,2	68,252	188,975	0,83	11,80	9,79	0,69	0,33	8,77	66,09%	10,71%	7,07%
		7,5E+05	31,3		19	1,440	2,1	68,260	189,595	0,85	11,80	10,03	0,66	0,31	9,05	66,30%	9,98%	6,62%
		1,0E+06	41,7		19	1,445	2,1	68,258	188,929	0,86	11,80	10,15	0,66	0,32	9,17	66,07%	9,86%	6,52%
	14	0,0E+00	0,0	272,443	20	1,436	2,2	70,321	195,880	0,91	11,80	10,74	0,72	0,31	9,71	71,90%	9,30%	6,69%
		1,0E+05	4,2		19	1,428	2,2	70,440	197,311	0,87	11,80	10,27	0,72	0,30	9,24	72,42%	9,73%	7,05%
		2,0E+05	8,3		19	1,434	2,3	70,568	196,842	0,86	11,80	10,15	0,75	0,32	9,08	72,25%	10,29%	7,44%
		5,0E+05	20,8		19	1,431	2,2	70,619	197,398	0,85	11,80	10,03	0,72	0,30	9,01	72,45%	9,96%	7,22%
		7,5E+05	31,3		20	1,429	2,2	70,946	198,589	0,84	11,80	9,91	0,73	0,30	8,89	72,89%	10,08%	7,35%
		1,0E+06	41,7		19	1,427	2,2	71,097	199,291	0,84	11,80	9,91	0,73	0,29	8,89	73,15%	10,08%	7,37%
	15	0,0E+00	0,0	271,370	19	1,440	2,3	69,351	192,668	0,93	11,80	10,97	0,74	0,33	9,90	71,00%	9,48%	6,73%
		1,0E+05	4,2		19	1,440	2,2	69,730	193,735	0,88	11,80	10,38	0,71	0,31	9,36	71,39%	9,58%	6,84%
		2,0E+05	8,3		20	1,437	2,3	70,014	194,889	0,88	11,80	10,38	0,75	0,32	9,31	71,82%	10,02%	7,19%
		5,0E+05	20,8		20	1,437	2,2	69,565	193,586	0,86	11,80	10,15	0,71	0,31	9,12	71,34%	9,81%	6,99%
		7,5E+05	31,3		20	1,433	2,2	69,903	195,137	0,85	11,80	10,03	0,72	0,31	9,01	71,91%	9,92%	7,13%
		1,0E+06	41,7		20	1,435	2,2	69,214	192,931	0,85	11,80	10,03	0,71	0,32	9,01	71,10%	9,92%	7,05%
	16	0,0E+00	0,0	274,774	20	1,429	2,0	70,778	198,161	0,94	11,80	11,09	0,66	0,27	10,16	72,12%	8,26%	5,96%
		1,0E+05	4,2		19	1,429	2,1	71,167	199,208	0,94	11,80	11,09	0,70	0,28	10,11	72,50%	8,67%	6,29%
		2,0E+05	8,3		20	1,419	2,0	71,264	200,885	0,94	11,80	11,09	0,67	0,26	10,16	73,11%	8,26%	6,04%
		5,0E+05	20,8		20	1,424	2,0	71,292	200,258	0,93	11,80	10,97	0,67	0,26	10,04	72,88%	8,35%	6,08%
		7,5E+05	31,3		20	1,428	2,0	71,465	200,182	0,92	11,80	10,86	0,67	0,26	9,92	72,85%	8,44%	6,15%
		1,0E+06	41,7		19	1,423	2,1	71,881	202,055	0,92	11,80	10,86	0,71	0,27	9,88	73,53%	8,86%	6,51%
17	0,0E+00	0,0	279,646	19	1,442	2,3	67,538	187,345	0,92	11,80	10,86	0,72	0,35	9,78	66,99%	9,87%	6,62%	
	1,0E+05	4,2		19	1,443	2,2	67,823	187,993	0,88	11,80	10,38	0,69	0,34	9,36	67,23%	9,87%	6,64%	
	2,0E+05	8,3		20	1,440	2,3	67,684	188,011	0,87	11,80	10,27	0,72	0,35	9,19	67,23%	10,44%	7,02%	
	5,0E+05	20,8		19	1,442	2,2	67,955	188,476	0,86	11,80	10,15	0,69	0,33	9,12	67,40%	10,10%	6,81%	
	7,5E+05	31,3		20	1,441	2,2	68,230	189,396	0,86	11,80	10,15	0,69	0,33	9,12	67,73%	10,10%	6,84%	
	1,0E+06	41,7		19	1,443	2,2	68,305	189,342	0,85	11,80	10,03	0,69	0,33	9,01	67,71%	10,22%	6,92%	
18	0,0E+00	0,0	273,723	20	1,434	2,0	69,568	194,053	0,93	11,80	10,97	0,65	0,28	10,04	70,89%	8,31%	5,89%	
	1,0E+05	4,2		19	1,436	2,1	69,606	193,889	0,93	11,80	10,97	0,68	0,30	10,00	70,83%	8,73%	6,18%	
	2,0E+05	8,3		19	1,439	2,0	69,998	194,574	0,93	11,80	10,97	0,65	0,28	10,04	71,08%	8,31%	5,91%	
	5,0E+05	20,8		20	1,434	2,0	70,311	196,126	0,92	11,80	10,86	0,65	0,28	9,92	71,65%	8,40%	6,02%	
	7,5E+05	31,3		19	1,438	2,0	70,350	195,688	0,92	11,80	10,86	0,65	0,28	9,92	71,49%	8,40%	6,01%	
	1,0E+06	41,7		19	1,439	2,1	70,628	196,325	0,92	11,80	10,86	0,69	0,29	9,88	71,72%	8,82%	6,33%	
Média	0,0E+00	0,0	276,319	20	1,436	2,2	69,255	192,891	0,93	11,80	10,92	0,69	0,32	9,91	69,85%	9,07%	6,33%	
	1,0E+05	4,2		19	1,437	2,2	69,413	193,292	0,89	11,80	10,54	0,70	0,32	9,53	70,00%	9,49%	6,63%	
	2,0E+05	8,3		20	1,435	2,2	69,617	194,063	0,89	11,80	10,48	0,71	0,33	9,46	70,27%	9,71%	6,80%	
	5,0E+05	20,8		20	1,436	2,1	69,666	194,136	0,88	11,80	10,33	0,69	0,32	9,33	70,30%	9,55%	6,70%	
	7,5E+05	31,3		20	1,435	2,1	69,859	194,765	0,87	11,80	10,31	0,69	0,31	9,32	70,53%	9,49%	6,68%	
	1,0E+06	41,7		19	1,435	2,2	69,897	194,812	0,87	11,80	10,31	0,70	0,31	9,30	70,55%	9,63%	6,78%	
	Média			19	1,436	2,2	69,618	193,993	0,89	11,80	10,48	0,70	0,32	9,48	70,25%	9,49%	6,66%	

Rotor	Bomba			Fluido		Bico Ø2 mm												
	n°	Usa (rev)	Usa (h)	Q nom (ml/min)	Temp. (°C)	ρ (g/ml)	P (bar)	Massa (g)	Q real (ml/min)	DCA (A)	DCV (V)	P total (Watt)	P vol (Watt)	P lift (Watt)	P mec (Watt)	η vol	η mec	η total
Alumínio Liga 6082	19	0,0E+00	0,0	283,459	19	1,438	2,5	79,971	222,482	0,86	11,80	10,15	0,93	0,24	8,98	78,49%	11,64%	9,13%
		1,0E+05	4,2		19	1,432	2,5	79,321	221,555	0,85	11,80	10,03	0,92	0,24	8,87	78,16%	11,78%	9,20%
		2,0E+05	8,3		19	1,440	2,5	79,545	221,032	0,84	11,80	9,91	0,92	0,24	8,75	77,98%	11,92%	9,29%
		5,0E+05	20,8		19	1,423	2,4	78,616	221,036	0,87	11,80	10,27	0,88	0,23	9,15	77,98%	11,04%	8,61%
		7,5E+05	31,3		19	1,438	2,5	80,800	224,775	0,88	11,80	10,38	0,94	0,23	9,22	79,30%	11,37%	9,02%
		1,0E+06	41,7		19	1,424	2,3	78,982	221,934	0,86	11,80	10,15	0,85	0,22	9,08	78,29%	10,71%	8,38%
	20	0,0E+00	0,0	282,132	19	1,424	2,9	85,610	240,525	0,93	11,80	10,97	1,16	0,19	9,62	85,25%	12,43%	10,59%
		1,0E+05	4,2		19	1,437	2,8	87,132	242,478	0,92	11,80	10,86	1,13	0,17	9,55	85,94%	12,13%	10,42%
		2,0E+05	8,3		19	1,404	2,8	83,746	238,586	0,92	11,80	10,86	1,11	0,19	9,55	84,57%	12,13%	10,26%
		5,0E+05	20,8		19	1,432	2,8	85,157	237,875	0,91	11,80	10,74	1,11	0,19	9,43	84,31%	12,26%	10,34%
		7,5E+05	31,3		19	1,439	2,8	85,170	236,800	0,92	11,80	10,86	1,11	0,20	9,55	83,93%	12,13%	10,18%
		1,0E+06	41,7		19	1,436	2,8	84,740	235,985	0,93	11,80	10,97	1,10	0,20	9,67	83,64%	12,00%	10,04%
	21	0,0E+00	0,0	278,612	19	1,441	3,0	77,790	215,897	0,90	11,80	10,62	1,08	0,32	9,22	77,49%	13,12%	10,16%
		1,0E+05	4,2		19	1,437	2,8	78,387	218,263	0,83	11,80	9,79	1,02	0,29	8,49	78,34%	13,28%	10,40%
		2,0E+05	8,3		19	1,435	2,7	78,213	218,034	0,83	11,80	9,79	0,98	0,28	8,54	78,26%	12,80%	10,02%
		5,0E+05	20,8		19	1,440	3,0	78,278	217,397	0,85	11,80	10,03	1,09	0,31	8,63	78,03%	13,89%	10,84%
		7,5E+05	31,3		19	1,437	2,8	77,317	215,230	0,85	11,80	10,03	1,00	0,30	8,73	77,25%	12,96%	10,01%
		1,0E+06	41,7		19	1,435	2,8	77,567	216,200	0,85	11,80	10,03	1,01	0,29	8,73	77,60%	12,96%	10,06%
	22	0,0E+00	0,0	283,394	20	1,438	2,5	80,710	224,506	0,84	11,80	9,91	0,94	0,23	8,75	79,22%	11,91%	9,44%
		1,0E+05	4,2		19	1,440	2,5	80,415	223,375	0,84	11,80	9,91	0,93	0,23	8,75	78,82%	11,91%	9,39%
		2,0E+05	8,3		20	1,437	2,5	80,519	224,131	0,84	11,80	9,91	0,93	0,23	8,75	79,09%	11,91%	9,42%
		5,0E+05	20,8		19	1,439	2,4	80,512	223,784	0,84	11,80	9,91	0,90	0,22	8,79	78,97%	11,44%	9,03%
		7,5E+05	31,3		19	1,440	2,5	80,894	224,674	0,85	11,80	10,03	0,94	0,23	8,87	79,28%	11,77%	9,33%
		1,0E+06	41,7		19	1,441	2,3	80,122	222,407	0,85	11,80	10,03	0,85	0,22	8,96	78,48%	10,83%	8,50%
23	0,0E+00	0,0	278,561	20	1,430	3,0	76,221	213,206	0,88	11,80	10,38	1,07	0,33	8,99	76,54%	13,41%	10,27%	
	1,0E+05	4,2		19	1,431	3,0	76,570	214,002	0,84	11,80	9,91	1,07	0,33	8,52	76,82%	14,05%	10,80%	
	2,0E+05	8,3		19	1,435	3,0	76,617	213,567	0,84	11,80	9,91	1,07	0,33	8,52	76,67%	14,05%	10,77%	
	5,0E+05	20,8		19	1,431	3,0	76,842	214,792	0,84	11,80	9,91	1,07	0,32	8,52	77,11%	14,05%	10,83%	
	7,5E+05	31,3		19	1,433	3,0	76,895	214,596	0,84	11,80	9,91	1,07	0,32	8,52	77,04%	14,05%	10,83%	
	1,0E+06	41,7		20	1,434	3,0	77,203	215,350	0,83	11,80	9,79	1,08	0,32	8,40	77,31%	14,22%	10,99%	
24	0,0E+00	0,0	283,377	20	1,439	2,9	84,001	233,498	0,86	11,80	10,15	1,13	0,22	8,80	82,40%	13,50%	11,12%	
	1,0E+05	4,2		19	1,440	2,8	84,182	233,823	0,85	11,80	10,03	1,09	0,21	8,73	82,51%	13,18%	10,88%	
	2,0E+05	8,3		19	1,441	2,9	84,343	234,124	0,85	11,80	10,03	1,13	0,22	8,68	82,62%	13,66%	11,28%	
	5,0E+05	20,8		20	1,439	2,8	84,290	234,318	0,84	11,80	9,91	1,09	0,21	8,61	82,69%	13,34%	11,03%	
	7,5E+05	31,3		20	1,438	2,9	84,547	235,196	0,84	11,80	9,91	1,14	0,21	8,56	83,00%	13,82%	11,47%	
	1,0E+06	41,7		19	1,440	2,8	84,779	235,497	0,84	11,80	9,91	1,10	0,20	8,61	83,10%	13,34%	11,09%	
Média	0,0E+00	0,0	281,589	20	1,435	2,8	80,717	225,019	0,88	11,80	10,36	1,05	0,25	9,06	79,90%	12,67%	10,12%	
	1,0E+05	4,2		19	1,436	2,7	81,001	225,583	0,86	11,80	10,09	1,03	0,23	8,82	80,10%	12,72%	10,18%	
	2,0E+05	8,3		19	1,432	2,7	80,497	224,912	0,85	11,80	10,07	1,02	0,24	8,80	79,86%	12,74%	10,17%	
	5,0E+05	20,8		19	1,434	2,7	80,616	224,867	0,86	11,80	10,13	1,02	0,25	8,86	79,85%	12,67%	10,11%	
	7,5E+05	31,3		19	1,437	2,8	80,937	225,212	0,86	11,80	10,19	1,03	0,24	8,91	79,97%	12,68%	10,14%	
	1,0E+06	41,7		19	1,435	2,7	80,566	224,562	0,86	11,80	10,15	1,00	0,24	8,91	79,74%	12,34%	9,84%	
Média				19	1,435	2,7	80,722	225,026	0,86	11,80	10,16	1,03	0,24	8,89	79,90%	12,64%	10,10%	

Rotor	Bomba			Fluido		Pressão de saída ajustada para 3 bar												
	n°	Usos (rev)	Usos (h)	Q nom (ml/min)	Temp. (°C)	ρ (g/ml)	P (bar)	Massa (g)	Q real (ml/min)	DCA (A)	DCV (V)	P total (Watt)	P vol (Watt)	P lift (Watt)	P mec (Watt)	η vol	η mec	η total
SAE 12L14 Cromado	1	0,0E+00	0,0	279,399	19	1,433	3	81,520	227,582	0,87	11,80	10,27	1,14	0,26	8,87	81,45%	13,61%	11,08%
		1,0E+05	4,2		19	1,435	3	81,470	227,031	0,86	11,80	10,15	1,14	0,26	8,75	81,26%	13,77%	11,19%
		2,0E+05	8,3		19	1,437	3	80,635	224,454	0,86	11,80	10,15	1,12	0,27	8,75	80,33%	13,77%	11,06%
		5,0E+05	20,8		20	1,432	3	79,402	221,824	0,86	11,80	10,15	1,11	0,29	8,75	79,39%	13,77%	10,93%
		7,5E+05	31,3		19	1,436	3	80,672	224,729	0,88	11,80	10,38	1,12	0,27	8,99	80,43%	13,45%	10,82%
		1,0E+06	41,7		20	1,420	3	78,499	221,062	0,88	11,80	10,38	1,11	0,29	8,99	79,12%	13,45%	10,64%
	2	0,0E+00	0,0	280,213	19	1,437	3	78,579	218,670	0,87	11,80	10,27	1,09	0,31	8,86	78,04%	13,65%	10,65%
		1,0E+05	4,2		20	1,429	3	77,246	216,230	0,87	11,80	10,27	1,08	0,32	8,86	77,17%	13,65%	10,53%
		2,0E+05	8,3		19	1,432	3	77,126	215,436	0,86	11,80	10,15	1,08	0,32	8,75	76,88%	13,81%	10,61%
		5,0E+05	20,8		19	1,434	3	77,826	217,076	0,87	11,80	10,27	1,09	0,32	8,86	77,47%	13,65%	10,57%
		7,5E+05	31,3		20	1,433	3	77,282	215,673	0,86	11,80	10,15	1,08	0,32	8,75	76,97%	13,81%	10,63%
		1,0E+06	41,7		19	1,433	3	76,397	213,191	0,86	11,80	10,15	1,07	0,34	8,75	76,08%	13,81%	10,50%
	3	0,0E+00	0,0	272,860	19	1,435	3	80,363	224,002	0,90	11,80	10,62	1,12	0,24	9,26	82,09%	12,85%	10,55%
		1,0E+05	4,2		20	1,439	3	80,094	222,613	0,89	11,80	10,50	1,11	0,25	9,14	81,59%	12,99%	10,60%
		2,0E+05	8,3		19	1,438	3	79,907	222,217	0,88	11,80	10,38	1,11	0,25	9,02	81,44%	13,14%	10,70%
		5,0E+05	20,8		20	1,444	3	80,271	222,339	0,89	11,80	10,50	1,11	0,25	9,14	81,48%	12,99%	10,59%
		7,5E+05	31,3		20	1,441	3	79,004	219,328	0,88	11,80	10,38	1,10	0,27	9,02	80,38%	13,14%	10,56%
		1,0E+06	41,7		19	1,417	3	76,995	217,322	0,88	11,80	10,38	1,09	0,28	9,02	79,65%	13,14%	10,46%
	4	0,0E+00	0,0	291,465	19	1,437	3	82,278	229,027	0,88	11,80	10,38	1,15	0,31	8,93	78,58%	14,03%	11,03%
		1,0E+05	4,2		20	1,428	3	82,238	230,359	0,87	11,80	10,27	1,15	0,31	8,81	79,03%	14,20%	11,22%
		2,0E+05	8,3		20	1,434	3	81,786	228,134	0,87	11,80	10,27	1,14	0,32	8,81	78,27%	14,20%	11,11%
		5,0E+05	20,8		19	1,433	3	81,811	228,363	0,87	11,80	10,27	1,14	0,32	8,81	78,35%	14,20%	11,12%
		7,5E+05	31,3		20	1,433	3	81,452	227,310	0,87	11,80	10,27	1,14	0,32	8,81	77,99%	14,20%	11,07%
		1,0E+06	41,7		19	1,436	3	80,789	225,039	0,87	11,80	10,27	1,13	0,33	8,81	77,21%	14,20%	10,96%
5	0,0E+00	0,0	279,974	19	1,429	3	78,651	220,157	0,86	11,80	10,15	1,10	0,30	8,75	78,63%	13,79%	10,85%	
	1,0E+05	4,2		19	1,425	3	78,446	220,199	0,86	11,80	10,15	1,10	0,30	8,75	78,65%	13,79%	10,85%	
	2,0E+05	8,3		20	1,431	3	78,161	218,479	0,86	11,80	10,15	1,09	0,31	8,75	78,04%	13,79%	10,76%	
	5,0E+05	20,8		19	1,433	3	78,136	218,105	0,86	11,80	10,15	1,09	0,31	8,75	77,90%	13,79%	10,75%	
	7,5E+05	31,3		20	1,433	3	78,002	217,700	0,86	11,80	10,15	1,09	0,31	8,75	77,76%	13,79%	10,73%	
	1,0E+06	41,7		20	1,428	3	77,607	217,387	0,86	11,80	10,15	1,09	0,31	8,75	77,65%	13,79%	10,71%	
6	0,0E+00	0,0	272,753	19	1,435	3	80,223	223,612	0,89	11,80	10,50	1,12	0,25	9,14	81,98%	12,99%	10,65%	
	1,0E+05	4,2		19	1,439	3	80,040	222,463	0,89	11,80	10,50	1,11	0,25	9,14	81,56%	12,99%	10,59%	
	2,0E+05	8,3		20	1,438	3	79,897	222,189	0,89	11,80	10,50	1,11	0,25	9,14	81,46%	12,99%	10,58%	
	5,0E+05	20,8		20	1,444	3	79,971	221,508	0,88	11,80	10,38	1,11	0,26	9,02	81,21%	13,13%	10,67%	
	7,5E+05	31,3		20	1,441	3	79,704	221,271	0,88	11,80	10,38	1,11	0,26	9,02	81,13%	13,13%	10,65%	
	1,0E+06	41,7		20	1,417	3	79,555	224,548	0,89	11,80	10,47	1,12	0,24	9,10	82,33%	13,03%	10,73%	
Média	0,0E+00	0,0	279,444	19	1,434	3	80,269	223,842	0,88	11,80	10,36	1,12	0,27	8,97	80,13%	13,49%	10,80%	
	1,0E+05	4,2		20	1,433	3	79,922	223,149	0,87	11,80	10,31	1,12	0,28	8,91	79,88%	13,56%	10,83%	
	2,0E+05	8,3		20	1,435	3	79,585	221,818	0,87	11,80	10,27	1,11	0,28	8,87	79,40%	13,61%	10,80%	
	5,0E+05	20,8		20	1,437	3	79,570	221,536	0,87	11,80	10,29	1,11	0,29	8,89	79,30%	13,59%	10,77%	
	7,5E+05	31,3		20	1,436	3	79,353	221,002	0,87	11,80	10,29	1,11	0,29	8,89	79,11%	13,59%	10,74%	
	1,0E+06	41,7		20	1,425	3	78,307	219,758	0,87	11,80	10,30	1,10	0,30	8,90	78,67%	13,57%	10,67%	
	Média				19	1,433	3	79,501	221,851	0,87	11,80	10,30	1,11	0,28	8,90	79,42%	13,57%	10,77%

Rotor	Bomba			Fluido		Pressão de saída ajustada para 3 bar												
	n°	Uso	Q nom	Temp.	ρ	P	Massa	Q real	DCA	DCV	P total	P vol	P lift	P mec	η vol	η mec	η total	
	(rev)	(h)	(ml/min)	(°C)	(g/ml)	(bar)	(g)	(ml/min)	(A)	(V)	(Watt)	(Watt)	(Watt)	(Watt)				
Poliâmida 6	7	0,0E+00	0,0	286,345	20	1,435	3	51,750	144,235	0,93	11,80	10,97	0,72	0,68	9,58	50,37%	13,05%	6,57%
		1,0E+05	4,2		20	1,442	3	51,740	143,487	0,88	11,80	10,38	0,72	0,68	8,99	50,11%	13,79%	6,91%
		2,0E+05	8,3		19	1,445	3	52,344	144,865	0,88	11,80	10,38	0,72	0,67	8,99	50,59%	13,79%	6,98%
		5,0E+05	20,8		19	1,445	3	52,790	146,107	0,86	11,80	10,15	0,73	0,67	8,75	51,02%	14,11%	7,20%
		7,5E+05	31,3		19	1,445	3	52,821	146,201	0,86	11,80	10,15	0,73	0,67	8,75	51,06%	14,11%	7,20%
		1,0E+06	41,7		19	1,445	3	52,885	146,374	0,85	11,80	10,03	0,73	0,67	8,63	51,12%	14,27%	7,30%
	8	0,0E+00	0,0	278,418	19	1,440	3	72,431	201,147	0,84	11,80	9,91	1,01	0,39	8,52	72,25%	14,04%	10,15%
		1,0E+05	4,2		20	1,439	3	72,330	201,023	0,83	11,80	9,79	1,01	0,39	8,40	72,20%	14,21%	10,26%
		2,0E+05	8,3		19	1,440	3	72,478	201,350	0,83	11,80	9,79	1,01	0,39	8,40	72,32%	14,21%	10,28%
		5,0E+05	20,8		19	1,441	3	72,728	201,837	0,82	11,80	9,68	1,01	0,39	8,28	72,49%	14,39%	10,43%
		7,5E+05	31,3		19	1,442	3	72,783	201,934	0,83	11,80	9,79	1,01	0,39	8,40	72,53%	14,21%	10,31%
		1,0E+06	41,7		19	1,444	3	72,930	202,039	0,82	11,80	9,68	1,01	0,39	8,28	72,57%	14,39%	10,44%
	9	0,0E+00	0,0	283,958	19	1,423	3	68,886	193,647	0,85	11,80	10,03	0,97	0,43	8,63	68,20%	14,16%	9,65%
		1,0E+05	4,2		19	1,445	3	70,299	194,637	0,84	11,80	9,91	0,97	0,42	8,52	68,54%	14,32%	9,82%
		2,0E+05	8,3		19	1,435	3	69,884	194,733	0,85	11,80	10,03	0,97	0,42	8,63	68,58%	14,16%	9,71%
		5,0E+05	20,8		19	1,434	3	70,218	195,888	0,83	11,80	9,79	0,98	0,42	8,40	68,98%	14,50%	10,00%
		7,5E+05	31,3		19	1,440	3	69,747	193,715	0,87	11,80	10,27	0,97	0,43	8,87	68,22%	13,83%	9,43%
		1,0E+06	41,7		19	1,411	3	66,855	189,531	0,94	11,80	11,09	0,95	0,45	9,70	66,75%	12,80%	8,54%
	10	0,0E+00	0,0	285,014	20	1,423	3	66,412	186,692	0,87	11,80	10,27	0,93	0,46	8,87	65,50%	13,88%	9,09%
		1,0E+05	4,2		19	1,445	3	66,431	183,928	0,86	11,80	10,15	0,92	0,48	8,75	64,53%	14,04%	9,06%
		2,0E+05	8,3		20	1,435	3	66,188	184,434	0,86	11,80	10,15	0,92	0,47	8,75	64,71%	14,04%	9,09%
		5,0E+05	20,8		19	1,434	3	66,780	186,297	0,86	11,80	10,15	0,93	0,47	8,75	65,36%	14,04%	9,18%
		7,5E+05	31,3		19	1,440	3	66,873	185,733	0,85	11,80	10,03	0,93	0,47	8,63	65,17%	14,21%	9,26%
		1,0E+06	41,7		19	1,411	3	67,003	189,950	0,85	11,80	10,03	0,95	0,45	8,63	66,65%	14,21%	9,47%
11	0,0E+00	0,0	277,430	19	1,421	3	71,021	199,918	0,86	11,80	10,15	1,00	0,40	8,75	72,06%	13,67%	9,85%	
	1,0E+05	4,2		19	1,427	3	71,077	199,235	0,86	11,80	10,15	1,00	0,40	8,75	71,81%	13,67%	9,82%	
	2,0E+05	8,3		20	1,430	3	71,205	199,175	0,86	11,80	10,15	1,00	0,40	8,75	71,79%	13,67%	9,81%	
	5,0E+05	20,8		20	1,425	3	71,399	200,418	0,87	11,80	10,27	1,00	0,39	8,87	72,24%	13,51%	9,76%	
	7,5E+05	31,3		20	1,431	3	71,513	199,897	0,87	11,80	10,27	1,00	0,40	8,87	72,05%	13,51%	9,74%	
	1,0E+06	41,7		20	1,429	3	71,884	201,201	0,87	11,80	10,27	1,01	0,39	8,87	72,52%	13,51%	9,80%	
12	0,0E+00	0,0	287,088	20	1,438	3	62,222	173,079	0,93	11,80	10,97	0,87	0,53	9,58	60,29%	13,08%	7,89%	
	1,0E+05	4,2		19	1,440	3	61,873	171,869	0,90	11,80	10,62	0,86	0,54	9,22	59,87%	13,52%	8,09%	
	2,0E+05	8,3		19	1,441	3	61,009	169,352	0,89	11,80	10,50	0,85	0,55	9,11	58,99%	13,67%	8,06%	
	5,0E+05	20,8		20	1,439	3	62,795	174,552	0,89	11,80	10,50	0,87	0,52	9,11	60,80%	13,67%	8,31%	
	7,5E+05	31,3		20	1,438	3	62,836	174,787	0,88	11,80	10,38	0,87	0,52	8,99	60,88%	13,82%	8,42%	
	1,0E+06	41,7		19	1,440	3	62,995	174,986	0,88	11,80	10,38	0,87	0,52	8,99	60,95%	13,82%	8,43%	
Média	0,0E+00	0,0	283,042	20	1,430	3	65,454	183,120	0,88	11,80	10,38	0,92	0,50	8,99	64,78%	13,65%	8,87%	
	1,0E+05	4,2		19	1,440	3	65,625	182,363	0,86	11,80	10,17	0,91	0,50	8,77	64,51%	13,93%	8,99%	
	2,0E+05	8,3		19	1,438	3	65,518	182,318	0,86	11,80	10,17	0,91	0,50	8,77	64,50%	13,92%	8,99%	
	5,0E+05	20,8		19	1,436	3	66,118	184,183	0,86	11,80	10,09	0,92	0,49	8,69	65,15%	14,04%	9,15%	
	7,5E+05	31,3		19	1,439	3	66,096	183,711	0,86	11,80	10,15	0,92	0,49	8,75	64,98%	13,95%	9,06%	
	1,0E+06	41,7		19	1,430	3	65,759	184,013	0,87	11,80	10,25	0,92	0,50	8,85	65,09%	13,83%	9,00%	
	Média			19	1,436	3	65,762	183,285	0,86	11,80	10,20	0,92	0,50	8,80	64,84%	13,89%	9,01%	

Rotor	Bomba			Fluido		Pressão de saída ajustada para 3 bar												
	n°	Usa (rev)	Usa (h)	Q nom (ml/min)	Temp. (°C)	ρ (g/ml)	P (bar)	Massa (g)	Q real (ml/min)	DCA (A)	DCV (V)	P total (Watt)	P vol (Watt)	P lift (Watt)	P mec (Watt)	η vol	η mec	η total
PEEK	13	0,0E+00	0,0	285,957	19	1,437	3	67,735	188,577	0,92	11,80	10,86	0,94	0,45	9,46	65,95%	13,17%	8,69%
		1,0E+05	4,2		19	1,444	3	67,483	186,975	0,87	11,80	10,27	0,93	0,46	8,87	65,39%	13,93%	9,11%
		2,0E+05	8,3		19	1,442	3	67,858	188,296	0,85	11,80	10,03	0,94	0,46	8,63	65,85%	14,26%	9,39%
		5,0E+05	20,8		19	1,445	3	68,008	188,299	0,84	11,80	9,91	0,94	0,46	8,52	65,85%	14,42%	9,50%
		7,5E+05	31,3		19	1,440	3	68,010	188,901	0,86	11,80	10,15	0,94	0,45	8,75	66,06%	14,09%	9,31%
		1,0E+06	41,7		19	1,445	3	68,129	188,572	0,87	11,80	10,27	0,94	0,45	8,87	65,94%	13,93%	9,18%
	14	0,0E+00	0,0	272,443	20	1,436	3	70,254	195,694	0,92	11,80	10,86	0,98	0,42	9,46	71,83%	12,55%	9,01%
		1,0E+05	4,2		19	1,428	3	70,323	196,983	0,88	11,80	10,38	0,98	0,41	8,99	72,30%	13,12%	9,48%
		2,0E+05	8,3		19	1,434	3	70,408	196,396	0,87	11,80	10,27	0,98	0,42	8,87	72,09%	13,27%	9,57%
		5,0E+05	20,8		19	1,431	3	70,403	196,794	0,87	11,80	10,27	0,98	0,41	8,87	72,23%	13,27%	9,58%
		7,5E+05	31,3		20	1,429	3	70,615	197,663	0,86	11,80	10,15	0,99	0,41	8,75	72,55%	13,42%	9,74%
		1,0E+06	41,7		19	1,427	3	71,002	199,025	0,86	11,80	10,15	1,00	0,40	8,75	73,05%	13,42%	9,81%
	15	0,0E+00	0,0	271,370	19	1,440	3	69,228	192,327	0,94	11,80	11,09	0,96	0,44	9,70	70,87%	12,23%	8,67%
		1,0E+05	4,2		19	1,440	3	69,527	193,171	0,89	11,80	10,50	0,97	0,43	9,11	71,18%	12,92%	9,20%
		2,0E+05	8,3		20	1,437	3	69,971	194,770	0,89	11,80	10,50	0,97	0,42	9,11	71,77%	12,92%	9,27%
		5,0E+05	20,8		20	1,437	3	69,508	193,427	0,88	11,80	10,38	0,97	0,43	8,99	71,28%	13,07%	9,31%
		7,5E+05	31,3		20	1,433	3	69,737	194,674	0,87	11,80	10,27	0,97	0,42	8,87	71,74%	13,22%	9,48%
		1,0E+06	41,7		20	1,435	3	69,094	192,597	0,86	11,80	10,15	0,96	0,43	8,75	70,97%	13,37%	9,49%
	16	0,0E+00	0,0	274,774	20	1,429	3	70,357	196,982	0,95	11,80	11,21	0,98	0,41	9,81	71,69%	12,26%	8,79%
		1,0E+05	4,2		19	1,429	3	70,884	198,416	0,95	11,80	11,21	0,99	0,40	9,81	72,21%	12,26%	8,85%
		2,0E+05	8,3		20	1,419	3	70,960	200,028	0,95	11,80	11,21	1,00	0,40	9,81	72,80%	12,26%	8,92%
		5,0E+05	20,8		20	1,424	3	70,969	199,351	0,94	11,80	11,09	1,00	0,40	9,70	72,55%	12,39%	8,99%
		7,5E+05	31,3		20	1,428	3	71,134	199,255	0,93	11,80	10,97	1,00	0,40	9,58	72,52%	12,52%	9,08%
		1,0E+06	41,7		19	1,423	3	71,520	201,040	0,93	11,80	10,97	1,01	0,39	9,58	73,17%	12,52%	9,16%
17	0,0E+00	0,0	279,646	19	1,442	3	67,367	186,871	0,93	11,80	10,97	0,93	0,46	9,58	66,82%	12,74%	8,51%	
	1,0E+05	4,2		19	1,443	3	67,489	187,068	0,89	11,80	10,50	0,94	0,46	9,11	66,89%	13,31%	8,91%	
	2,0E+05	8,3		20	1,440	3	67,304	186,956	0,88	11,80	10,38	0,93	0,46	8,99	66,85%	13,47%	9,00%	
	5,0E+05	20,8		19	1,442	3	67,784	188,002	0,87	11,80	10,27	0,94	0,46	8,87	67,23%	13,62%	9,16%	
	7,5E+05	31,3		20	1,441	3	68,007	188,777	0,87	11,80	10,27	0,94	0,45	8,87	67,51%	13,62%	9,19%	
	1,0E+06	41,7		19	1,443	3	68,162	188,945	0,86	11,80	10,15	0,94	0,45	8,75	67,57%	13,78%	9,31%	
18	0,0E+00	0,0	273,723	20	1,434	3	69,107	192,767	0,94	11,80	11,09	0,96	0,43	9,70	70,42%	12,34%	8,69%	
	1,0E+05	4,2		19	1,436	3	69,285	192,994	0,94	11,80	11,09	0,96	0,43	9,70	70,51%	12,34%	8,70%	
	2,0E+05	8,3		19	1,439	3	69,473	193,115	0,94	11,80	11,09	0,97	0,43	9,70	70,55%	12,34%	8,71%	
	5,0E+05	20,8		20	1,434	3	69,660	194,310	0,93	11,80	10,97	0,97	0,43	9,58	70,99%	12,47%	8,85%	
	7,5E+05	31,3		19	1,438	3	70,001	194,718	0,92	11,80	10,86	0,97	0,42	9,46	71,14%	12,61%	8,97%	
	1,0E+06	41,7		19	1,439	3	70,358	195,575	0,92	11,80	10,86	0,98	0,42	9,46	71,45%	12,61%	9,01%	
Média	0,0E+00	0,0	276,319	20	1,436	3	69,008	192,203	0,93	11,80	11,01	0,96	0,44	9,62	69,60%	12,55%	8,73%	
	1,0E+05	4,2		19	1,437	3	69,165	192,601	0,90	11,80	10,66	0,96	0,44	9,26	69,75%	12,98%	9,04%	
	2,0E+05	8,3		20	1,435	3	69,329	193,260	0,90	11,80	10,58	0,97	0,43	9,18	69,98%	13,08%	9,14%	
	5,0E+05	20,8		20	1,436	3	69,389	193,364	0,89	11,80	10,48	0,97	0,43	9,09	70,02%	13,21%	9,23%	
	7,5E+05	31,3		20	1,435	3	69,584	193,998	0,89	11,80	10,44	0,97	0,43	9,05	70,25%	13,25%	9,29%	
	1,0E+06	41,7		19	1,435	3	69,711	194,292	0,88	11,80	10,42	0,97	0,43	9,03	70,36%	13,27%	9,33%	
	Média			19	1,436	3	69,364	193,286	0,90	11,80	10,60	0,97	0,43	9,20	69,99%	13,06%	9,13%	

Rotor	Bomba			Fluido		Pressão de saída ajustada para 3 bar												
	n°	Uso	Uso	Q nom	Temp.	ρ	P	Massa	Q real	DCA	DCV	P total	P vol	P lift	P mec	η vol	η mec	η total
		(rev)	(h)	(ml/min)	(°C)	(g/ml)	(bar)	(g)	(ml/min)	(A)	(V)	(Watt)	(Watt)	(Watt)	(Watt)			
Alumínio Liga 6082	19	0,0E+00	0,0	283,459	19	1,438	3	80,098	222,835	0,87	11,80	10,27	1,11	0,28	8,87	78,61%	13,81%	10,85%
		1,0E+05	4,2		19	1,432	3	79,115	220,979	0,85	11,80	10,03	1,10	0,29	8,63	77,96%	14,13%	11,02%
		2,0E+05	8,3		19	1,440	3	79,443	220,749	0,85	11,80	10,03	1,10	0,29	8,63	77,88%	14,13%	11,00%
		5,0E+05	20,8		19	1,423	3	78,921	221,894	0,87	11,80	10,27	1,11	0,29	8,87	78,28%	13,81%	10,81%
		7,5E+05	31,3		19	1,438	3	80,685	224,455	0,88	11,80	10,38	1,12	0,27	8,99	79,18%	13,65%	10,81%
		1,0E+06	41,7		19	1,424	3	78,988	221,951	0,86	11,80	10,15	1,11	0,29	8,75	78,30%	13,97%	10,94%
	20	0,0E+00	0,0	282,132	19	1,424	3	85,758	240,941	0,93	11,80	10,97	1,20	0,19	9,58	85,40%	12,85%	10,98%
		1,0E+05	4,2		19	1,437	3	86,895	241,818	0,92	11,80	10,86	1,21	0,19	9,46	85,71%	12,99%	11,14%
		2,0E+05	8,3		19	1,404	3	83,099	236,743	0,92	11,80	10,86	1,18	0,21	9,46	83,91%	12,99%	10,90%
		5,0E+05	20,8		19	1,432	3	85,157	237,875	0,91	11,80	10,74	1,19	0,21	9,34	84,31%	13,14%	11,08%
		7,5E+05	31,3		19	1,439	3	85,170	236,800	0,93	11,80	10,97	1,18	0,21	9,58	83,93%	12,85%	10,79%
		1,0E+06	41,7		19	1,436	3	84,740	235,985	0,93	11,80	10,97	1,18	0,22	9,58	83,64%	12,85%	10,75%
	21	0,0E+00	0,0	278,612	19	1,441	3	77,790	215,897	0,90	11,80	10,62	1,08	0,32	9,22	77,49%	13,12%	10,16%
		1,0E+05	4,2		19	1,437	3	78,343	218,141	0,83	11,80	9,79	1,09	0,31	8,40	78,30%	14,22%	11,14%
		2,0E+05	8,3		19	1,435	3	78,283	218,229	0,83	11,80	9,79	1,09	0,31	8,40	78,33%	14,22%	11,14%
		5,0E+05	20,8		19	1,440	3	78,278	217,397	0,85	11,80	10,03	1,09	0,31	8,63	78,03%	13,89%	10,84%
		7,5E+05	31,3		19	1,437	3	77,333	215,274	0,85	11,80	10,03	1,08	0,32	8,63	77,27%	13,89%	10,73%
		1,0E+06	41,7		19	1,435	3	77,221	215,235	0,85	11,80	10,03	1,08	0,32	8,63	77,25%	13,89%	10,73%
	22	0,0E+00	0,0	283,394	20	1,438	3	80,318	223,416	0,85	11,80	10,03	1,12	0,28	8,63	78,84%	14,13%	11,14%
		1,0E+05	4,2		19	1,440	3	80,165	222,681	0,85	11,80	10,03	1,11	0,28	8,63	78,58%	14,13%	11,10%
		2,0E+05	8,3		20	1,437	3	80,246	223,371	0,85	11,80	10,03	1,12	0,28	8,63	78,82%	14,13%	11,14%
		5,0E+05	20,8		19	1,439	3	80,273	223,120	0,85	11,80	10,03	1,12	0,28	8,63	78,73%	14,13%	11,12%
		7,5E+05	31,3		19	1,440	3	80,449	223,438	0,86	11,80	10,15	1,12	0,28	8,75	78,84%	13,96%	11,01%
		1,0E+06	41,7		19	1,441	3	79,896	221,779	0,86	11,80	10,15	1,11	0,29	8,75	78,26%	13,96%	10,93%
23	0,0E+00	0,0	278,561	20	1,430	3	76,221	213,206	0,88	11,80	10,38	1,07	0,33	8,99	76,54%	13,41%	10,27%	
	1,0E+05	4,2		19	1,431	3	76,570	214,002	0,84	11,80	9,91	1,07	0,33	8,52	76,82%	14,05%	10,80%	
	2,0E+05	8,3		19	1,435	3	76,617	213,567	0,84	11,80	9,91	1,07	0,33	8,52	76,67%	14,05%	10,77%	
	5,0E+05	20,8		19	1,431	3	76,842	214,792	0,84	11,80	9,91	1,07	0,32	8,52	77,11%	14,05%	10,83%	
	7,5E+05	31,3		19	1,433	3	76,895	214,596	0,84	11,80	9,91	1,07	0,32	8,52	77,04%	14,05%	10,83%	
	1,0E+06	41,7		20	1,434	3	77,203	215,350	0,83	11,80	9,79	1,08	0,32	8,40	77,31%	14,22%	10,99%	
24	0,0E+00	0,0	283,377	20	1,439	3	83,844	233,062	0,86	11,80	10,15	1,17	0,23	8,75	82,24%	13,96%	11,48%	
	1,0E+05	4,2		19	1,440	3	83,974	233,245	0,85	11,80	10,03	1,17	0,23	8,63	82,31%	14,13%	11,63%	
	2,0E+05	8,3		19	1,441	3	84,013	233,207	0,85	11,80	10,03	1,17	0,23	8,63	82,30%	14,13%	11,63%	
	5,0E+05	20,8		20	1,439	3	84,098	233,784	0,84	11,80	9,91	1,17	0,23	8,52	82,50%	14,29%	11,79%	
	7,5E+05	31,3		20	1,438	3	84,359	234,673	0,84	11,80	9,91	1,17	0,22	8,52	82,81%	14,29%	11,84%	
	1,0E+06	41,7		19	1,440	3	84,492	234,700	0,84	11,80	9,91	1,17	0,22	8,52	82,82%	14,29%	11,84%	
Média	0,0E+00	0,0	281,589	20	1,435	3	80,672	224,893	0,88	11,80	10,40	1,12	0,26	9,01	79,85%	13,55%	10,81%	
	1,0E+05	4,2		19	1,436	3	80,844	225,144	0,86	11,80	10,11	1,13	0,26	8,71	79,95%	13,94%	11,14%	
	2,0E+05	8,3		19	1,432	3	80,284	224,311	0,86	11,80	10,11	1,12	0,27	8,71	79,65%	13,94%	11,10%	
	5,0E+05	20,8		19	1,434	3	80,595	224,810	0,86	11,80	10,15	1,12	0,27	8,75	79,83%	13,88%	11,08%	
	7,5E+05	31,3		19	1,437	3	80,815	224,873	0,87	11,80	10,23	1,12	0,27	8,83	79,85%	13,78%	11,00%	
	1,0E+06	41,7		19	1,435	3	80,423	224,167	0,86	11,80	10,17	1,12	0,28	8,77	79,60%	13,86%	11,03%	
	Média				19	1,435	3	80,605	224,700	0,86	11,80	10,19	1,12	0,27	8,80	79,79%	13,83%	11,03%

Rotor	Bomba			Fluido		Pressão de saída ajustada para 4 bar												
	n°	Usos (rev)	Usos (h)	Q nom (ml/min)	Temp. (°C)	ρ (g/ml)	P (bar)	Massa (g)	Q real (ml/min)	DCA (A)	DCV (V)	P total (Watt)	P vol (Watt)	P lift (Watt)	P mec (Watt)	η vol	η mec	η total
SAE 12L14 Cromado	1	0,0E+00	0,0	279,399	19	1,433	4	81,000	226,131	0,88	11,80	10,38	1,51	0,36	8,52	80,93%	17,94%	14,52%
		1,0E+05	4,2		19	1,435	4	81,008	225,743	0,87	11,80	10,27	1,50	0,36	8,40	80,80%	18,14%	14,66%
		2,0E+05	8,3		19	1,437	4	80,035	222,784	0,86	11,80	10,15	1,49	0,38	8,29	79,74%	18,35%	14,64%
		5,0E+05	20,8		20	1,432	4	78,957	220,581	0,87	11,80	10,27	1,47	0,39	8,40	78,95%	18,14%	14,32%
		7,5E+05	31,3		19	1,436	4	80,135	223,233	0,89	11,80	10,50	1,49	0,37	8,64	79,90%	17,74%	14,17%
		1,0E+06	41,7		20	1,420	4	77,941	219,490	0,89	11,80	10,50	1,46	0,40	8,64	78,56%	17,74%	13,93%
	2	0,0E+00	0,0	280,213	19	1,437	4	78,131	217,423	0,88	11,80	10,38	1,45	0,42	8,52	77,59%	17,99%	13,96%
		1,0E+05	4,2		20	1,429	4	76,610	214,450	0,87	11,80	10,27	1,43	0,44	8,40	76,53%	18,20%	13,93%
		2,0E+05	8,3		19	1,432	4	76,416	213,453	0,87	11,80	10,27	1,42	0,45	8,40	76,18%	18,20%	13,86%
		5,0E+05	20,8		19	1,434	4	76,839	214,323	0,87	11,80	10,27	1,43	0,44	8,40	76,49%	18,20%	13,92%
		7,5E+05	31,3		20	1,433	4	76,526	213,563	0,86	11,80	10,15	1,42	0,44	8,28	76,21%	18,41%	14,03%
		1,0E+06	41,7		19	1,433	4	75,708	211,268	0,87	11,80	10,27	1,41	0,46	8,40	75,40%	18,20%	13,72%
	3	0,0E+00	0,0	272,860	19	1,435	4	79,964	222,890	0,90	11,80	10,62	1,49	0,33	8,80	81,69%	17,13%	13,99%
		1,0E+05	4,2		20	1,439	4	79,765	221,699	0,90	11,80	10,62	1,48	0,34	8,80	81,25%	17,13%	13,92%
		2,0E+05	8,3		19	1,438	4	79,623	221,427	0,89	11,80	10,50	1,48	0,34	8,68	81,15%	17,32%	14,06%
		5,0E+05	20,8		20	1,444	4	79,798	221,029	0,89	11,80	10,50	1,47	0,35	8,68	81,00%	17,32%	14,03%
		7,5E+05	31,3		20	1,441	4	78,550	218,067	0,88	11,80	10,38	1,45	0,37	8,56	79,92%	17,52%	14,00%
		1,0E+06	41,7		19	1,417	4	76,738	216,597	0,89	11,80	10,50	1,44	0,38	8,68	79,38%	17,32%	13,75%
	4	0,0E+00	0,0	291,465	19	1,437	4	81,888	227,942	0,89	11,80	10,50	1,52	0,42	8,56	78,21%	18,50%	14,47%
		1,0E+05	4,2		20	1,428	4	81,821	229,190	0,88	11,80	10,38	1,53	0,42	8,44	78,63%	18,71%	14,71%
		2,0E+05	8,3		20	1,434	4	81,336	226,879	0,88	11,80	10,38	1,51	0,43	8,44	77,84%	18,71%	14,57%
		5,0E+05	20,8		19	1,433	4	81,210	226,685	0,88	11,80	10,38	1,51	0,43	8,44	77,77%	18,71%	14,55%
		7,5E+05	31,3		20	1,433	4	80,992	226,026	0,88	11,80	10,38	1,51	0,44	8,44	77,55%	18,71%	14,51%
		1,0E+06	41,7		19	1,436	4	80,989	225,596	0,89	11,80	10,50	1,50	0,44	8,56	77,40%	18,50%	14,32%
5	0,0E+00	0,0	279,974	19	1,429	4	77,891	218,029	0,87	11,80	10,27	1,45	0,41	8,40	77,87%	18,18%	14,16%	
	1,0E+05	4,2		19	1,425	4	77,961	218,838	0,87	11,80	10,27	1,46	0,41	8,40	78,16%	18,18%	14,21%	
	2,0E+05	8,3		20	1,431	4	77,711	217,222	0,87	11,80	10,27	1,45	0,42	8,40	77,59%	18,18%	14,11%	
	5,0E+05	20,8		19	1,433	4	77,655	216,762	0,86	11,80	10,15	1,45	0,42	8,28	77,42%	18,39%	14,24%	
	7,5E+05	31,3		20	1,433	4	77,521	216,358	0,87	11,80	10,27	1,44	0,42	8,40	77,28%	18,18%	14,05%	
	1,0E+06	41,7		20	1,428	4	76,995	215,672	0,87	11,80	10,27	1,44	0,43	8,40	77,03%	18,18%	14,01%	
6	0,0E+00	0,0	272,753	19	1,435	4	79,631	221,962	0,90	11,80	10,62	1,48	0,34	8,80	81,38%	17,12%	13,93%	
	1,0E+05	4,2		19	1,439	4	79,640	221,351	0,90	11,80	10,62	1,48	0,34	8,80	81,15%	17,12%	13,90%	
	2,0E+05	8,3		20	1,438	4	79,475	221,016	0,90	11,80	10,62	1,47	0,34	8,80	81,03%	17,12%	13,87%	
	5,0E+05	20,8		20	1,444	4	79,312	219,683	0,90	11,80	10,62	1,46	0,35	8,80	80,54%	17,12%	13,79%	
	7,5E+05	31,3		20	1,441	4	79,204	219,883	0,90	11,80	10,62	1,47	0,35	8,80	80,62%	17,12%	13,80%	
	1,0E+06	41,7		20	1,417	4	78,955	222,854	0,90	11,80	10,62	1,49	0,33	8,80	81,71%	17,12%	13,99%	
Média	0,0E+00	0,0	279,444	19	1,434	4	79,751	222,396	0,89	11,80	10,46	1,48	0,37	8,60	79,61%	17,81%	14,17%	
	1,0E+05	4,2		20	1,433	4	79,468	221,879	0,88	11,80	10,40	1,48	0,38	8,54	79,42%	17,91%	14,22%	
	2,0E+05	8,3		20	1,435	4	79,099	220,463	0,88	11,80	10,36	1,47	0,39	8,50	78,92%	17,98%	14,18%	
	5,0E+05	20,8		20	1,437	4	78,962	219,844	0,88	11,80	10,36	1,47	0,39	8,50	78,70%	17,98%	14,14%	
	7,5E+05	31,3		20	1,436	4	78,821	219,522	0,88	11,80	10,38	1,46	0,39	8,52	78,58%	17,95%	14,09%	
	1,0E+06	41,7		20	1,425	4	77,888	218,580	0,89	11,80	10,44	1,46	0,41	8,58	78,25%	17,84%	13,95%	
	Média			19	1,433	4	78,998	220,447	0,88	11,80	10,40	1,47	0,39	8,54	78,91%	17,91%	14,13%	

Rotor	Bomba			Fluido		Pressão de saída ajustada para 4 bar												
	n°	Usos (rev)	Usos (h)	Q nom (ml/min)	Temp. (°C)	ρ (g/ml)	P (bar)	Massa (g)	Q real (ml/min)	DCA (A)	DCV (V)	P total (Watt)	P vol (Watt)	P lift (Watt)	P mec (Watt)	η vol	η mec	η total
Poliâmida 6	7	0,0E+00	0,0	286,345	20	1,435	4	51,415	143,301	0,93	11,80	10,97	0,96	0,91	9,11	50,04%	17,40%	8,71%
		1,0E+05	4,2		20	1,442	4	51,449	142,680	0,88	11,80	10,38	0,95	0,91	8,52	49,83%	18,38%	9,16%
		2,0E+05	8,3		19	1,445	4	52,051	144,054	0,88	11,80	10,38	0,96	0,90	8,52	50,31%	18,38%	9,25%
		5,0E+05	20,8		19	1,445	4	52,306	144,768	0,86	11,80	10,15	0,97	0,90	8,29	50,56%	18,81%	9,51%
		7,5E+05	31,3		19	1,445	4	52,617	145,636	0,86	11,80	10,15	0,97	0,89	8,29	50,86%	18,81%	9,57%
		1,0E+06	41,7		19	1,445	4	52,586	145,547	0,86	11,80	10,15	0,97	0,89	8,29	50,83%	18,81%	9,56%
	8	0,0E+00	0,0	278,418	19	1,440	4	71,923	199,736	0,85	11,80	10,03	1,33	0,53	8,17	71,74%	18,51%	13,28%
		1,0E+05	4,2		20	1,439	4	71,707	199,291	0,84	11,80	9,91	1,33	0,53	8,05	71,58%	18,73%	13,40%
		2,0E+05	8,3		19	1,440	4	71,900	199,744	0,84	11,80	9,91	1,33	0,53	8,05	71,74%	18,73%	13,43%
		5,0E+05	20,8		19	1,441	4	72,078	200,033	0,83	11,80	9,79	1,33	0,53	7,93	71,85%	18,95%	13,62%
		7,5E+05	31,3		19	1,442	4	72,254	200,466	0,84	11,80	9,91	1,34	0,53	8,05	72,00%	18,73%	13,48%
		1,0E+06	41,7		19	1,444	4	72,338	200,399	0,83	11,80	9,79	1,34	0,53	7,93	71,98%	18,95%	13,64%
	9	0,0E+00	0,0	283,958	19	1,423	4	68,672	193,045	0,86	11,80	10,15	1,29	0,58	8,29	67,98%	18,65%	12,68%
		1,0E+05	4,2		19	1,445	4	70,010	193,837	0,85	11,80	10,03	1,29	0,57	8,17	68,26%	18,87%	12,88%
		2,0E+05	8,3		19	1,435	4	69,569	193,856	0,86	11,80	10,15	1,29	0,57	8,29	68,27%	18,65%	12,74%
		5,0E+05	20,8		19	1,434	4	69,819	194,775	0,84	11,80	9,91	1,30	0,56	8,05	68,59%	19,10%	13,10%
		7,5E+05	31,3		19	1,440	4	69,510	193,057	0,87	11,80	10,27	1,29	0,58	8,40	67,99%	18,44%	12,54%
		1,0E+06	41,7		19	1,411	4	66,681	189,037	0,95	11,80	11,21	1,26	0,60	9,35	66,57%	16,89%	11,24%
	10	0,0E+00	0,0	285,014	20	1,423	4	66,020	185,590	0,88	11,80	10,38	1,24	0,63	8,52	65,12%	18,30%	11,92%
		1,0E+05	4,2		19	1,445	4	66,001	182,737	0,87	11,80	10,27	1,22	0,64	8,40	64,12%	18,51%	11,87%
		2,0E+05	8,3		20	1,435	4	65,818	183,403	0,87	11,80	10,27	1,22	0,64	8,40	64,35%	18,51%	11,91%
		5,0E+05	20,8		19	1,434	4	66,315	185,000	0,87	11,80	10,27	1,23	0,63	8,40	64,91%	18,51%	12,01%
		7,5E+05	31,3		19	1,440	4	66,411	184,449	0,87	11,80	10,27	1,23	0,63	8,40	64,72%	18,51%	11,98%
		1,0E+06	41,7		19	1,411	4	66,503	188,533	0,86	11,80	10,15	1,26	0,61	8,29	66,15%	18,72%	12,39%
	11	0,0E+00	0,0	277,430	19	1,421	4	70,500	198,452	0,87	11,80	10,27	1,32	0,54	8,40	71,53%	18,02%	12,89%
		1,0E+05	4,2		19	1,427	4	70,679	198,119	0,87	11,80	10,27	1,32	0,54	8,40	71,41%	18,02%	12,87%
		2,0E+05	8,3		20	1,430	4	70,777	197,978	0,87	11,80	10,27	1,32	0,54	8,40	71,36%	18,02%	12,86%
		5,0E+05	20,8		20	1,425	4	70,909	199,043	0,88	11,80	10,38	1,33	0,54	8,52	71,75%	17,81%	12,78%
7,5E+05		31,3	20		1,431	4	71,003	198,471	0,88	11,80	10,38	1,32	0,54	8,52	71,54%	17,81%	12,74%	
1,0E+06		41,7	20		1,429	4	71,224	199,353	0,88	11,80	10,38	1,33	0,53	8,52	71,86%	17,81%	12,80%	
12	0,0E+00	0,0	287,088	20	1,438	4	61,691	171,602	0,94	11,80	11,09	1,14	0,72	9,23	59,77%	17,25%	10,31%	
	1,0E+05	4,2		19	1,440	4	61,214	170,039	0,91	11,80	10,74	1,13	0,73	8,88	59,23%	17,82%	10,56%	
	2,0E+05	8,3		19	1,441	4	60,559	168,103	0,90	11,80	10,62	1,12	0,74	8,76	58,55%	18,02%	10,55%	
	5,0E+05	20,8		20	1,439	4	62,032	172,431	0,90	11,80	10,62	1,15	0,71	8,76	60,06%	18,02%	10,82%	
	7,5E+05	31,3		20	1,438	4	62,277	173,232	0,90	11,80	10,62	1,15	0,71	8,76	60,34%	18,02%	10,87%	
	1,0E+06	41,7		19	1,440	4	62,330	173,139	0,89	11,80	10,50	1,15	0,71	8,64	60,31%	18,22%	10,99%	
Média	0,0E+00	0,0	283,042	20	1,430	4	65,037	181,954	0,89	11,80	10,48	1,21	0,67	8,62	64,36%	18,02%	11,63%	
	1,0E+05	4,2		19	1,440	4	65,177	181,117	0,87	11,80	10,27	1,21	0,67	8,40	64,07%	18,39%	11,79%	
	2,0E+05	8,3		19	1,438	4	65,112	181,190	0,87	11,80	10,27	1,21	0,67	8,40	64,10%	18,39%	11,79%	
	5,0E+05	20,8		19	1,436	4	65,577	182,675	0,86	11,80	10,19	1,22	0,66	8,32	64,62%	18,53%	11,97%	
	7,5E+05	31,3		19	1,439	4	65,679	182,552	0,87	11,80	10,27	1,22	0,66	8,40	64,57%	18,39%	11,86%	
	1,0E+06	41,7		19	1,430	4	65,277	182,668	0,88	11,80	10,36	1,22	0,67	8,50	64,62%	18,23%	11,77%	
	Média			19	1,436	4	65,310	182,026	0,87	11,80	10,31	1,21	0,67	8,44	64,39%	18,32%	11,80%	

Rotor	Bomba			Fluido		Pressão de saída ajustada para 4 bar												
	n°	Uso (rev)	Uso (h)	Q nom (ml/min)	Temp. (°C)	ρ (g/ml)	P (bar)	Massa (g)	Q real (ml/min)	DCA (A)	DCV (V)	P total (Watt)	P vol (Watt)	P lift (Watt)	P mec (Watt)	η vol	η mec	η total
PEEK	13	0,0E+00	0,0	285,957	19	1,437	4	67,296	187,355	0,93	11,80	10,97	1,25	0,61	9,11	65,52%	17,37%	11,38%
		1,0E+05	4,2		19	1,444	4	67,065	185,817	0,88	11,80	10,38	1,24	0,62	8,52	64,98%	18,36%	11,93%
		2,0E+05	8,3		19	1,442	4	67,475	187,233	0,86	11,80	10,15	1,25	0,61	8,29	65,48%	18,79%	12,30%
		5,0E+05	20,8		19	1,445	4	67,526	186,965	0,85	11,80	10,03	1,25	0,62	8,17	65,38%	19,01%	12,43%
		7,5E+05	31,3		19	1,440	4	67,580	187,707	0,86	11,80	10,15	1,25	0,61	8,29	65,64%	18,79%	12,33%
		1,0E+06	41,7		19	1,445	4	67,134	185,817	0,88	11,80	10,38	1,24	0,62	8,52	64,98%	18,36%	11,93%
	14	0,0E+00	0,0	272,443	20	1,436	4	69,814	194,468	0,92	11,80	10,86	1,30	0,57	8,99	71,38%	16,73%	11,94%
		1,0E+05	4,2		19	1,428	4	69,939	195,908	0,89	11,80	10,50	1,31	0,56	8,64	71,91%	17,29%	12,44%
		2,0E+05	8,3		19	1,434	4	69,991	195,233	0,88	11,80	10,38	1,30	0,56	8,52	71,66%	17,49%	12,53%
		5,0E+05	20,8		19	1,431	4	70,108	195,969	0,88	11,80	10,38	1,31	0,56	8,52	71,93%	17,49%	12,58%
		7,5E+05	31,3		20	1,429	4	70,244	196,624	0,88	11,80	10,38	1,31	0,55	8,52	72,17%	17,49%	12,62%
		1,0E+06	41,7		19	1,427	4	70,627	197,973	0,88	11,80	10,38	1,32	0,54	8,52	72,67%	17,49%	12,71%
	15	0,0E+00	0,0	271,370	19	1,440	4	68,837	191,240	0,95	11,80	11,21	1,27	0,59	9,35	70,47%	16,14%	11,37%
		1,0E+05	4,2		19	1,440	4	69,015	191,748	0,90	11,80	10,62	1,28	0,58	8,76	70,66%	17,04%	12,04%
		2,0E+05	8,3		20	1,437	4	69,673	193,940	0,90	11,80	10,62	1,29	0,57	8,76	71,47%	17,04%	12,17%
		5,0E+05	20,8		20	1,437	4	69,222	192,631	0,89	11,80	10,50	1,28	0,58	8,64	70,98%	17,23%	12,23%
		7,5E+05	31,3		20	1,433	4	69,460	193,900	0,88	11,80	10,38	1,29	0,57	8,52	71,45%	17,42%	12,45%
		1,0E+06	41,7		20	1,435	4	68,732	191,587	0,87	11,80	10,27	1,28	0,59	8,40	70,60%	17,62%	12,44%
	16	0,0E+00	0,0	274,774	20	1,429	4	70,118	196,313	0,96	11,80	11,33	1,31	0,55	9,47	71,45%	16,17%	11,55%
		1,0E+05	4,2		19	1,429	4	70,509	197,366	0,96	11,80	11,33	1,32	0,55	9,47	71,83%	16,17%	11,62%
		2,0E+05	8,3		20	1,419	4	70,637	199,118	0,96	11,80	11,33	1,33	0,54	9,47	72,47%	16,17%	11,72%
		5,0E+05	20,8		20	1,424	4	70,710	198,624	0,95	11,80	11,21	1,32	0,54	9,35	72,29%	16,34%	11,81%
		7,5E+05	31,3		20	1,428	4	70,928	198,678	0,94	11,80	11,09	1,32	0,54	9,23	72,31%	16,51%	11,94%
		1,0E+06	41,7		19	1,423	4	71,123	199,924	0,94	11,80	11,09	1,33	0,53	9,23	72,76%	16,51%	12,02%
17	0,0E+00	0,0	279,646	19	1,442	4	66,929	185,656	0,94	11,80	11,09	1,24	0,62	9,23	66,39%	16,81%	11,16%	
	1,0E+05	4,2		19	1,443	4	67,123	186,052	0,90	11,80	10,62	1,24	0,62	8,76	66,53%	17,55%	11,68%	
	2,0E+05	8,3		20	1,440	4	67,246	186,794	0,89	11,80	10,50	1,25	0,62	8,64	66,80%	17,75%	11,86%	
	5,0E+05	20,8		19	1,442	4	67,481	187,161	0,88	11,80	10,38	1,25	0,61	8,52	66,93%	17,95%	12,02%	
	7,5E+05	31,3		20	1,441	4	67,750	188,064	0,88	11,80	10,38	1,25	0,61	8,52	67,25%	17,95%	12,07%	
	1,0E+06	41,7		19	1,443	4	67,889	188,188	0,87	11,80	10,27	1,25	0,61	8,40	67,30%	18,16%	12,22%	
18	0,0E+00	0,0	273,723	20	1,434	4	68,776	191,844	0,95	11,80	11,21	1,28	0,58	9,35	70,09%	16,28%	11,41%	
	1,0E+05	4,2		19	1,436	4	68,852	191,788	0,95	11,80	11,21	1,28	0,58	9,35	70,07%	16,28%	11,41%	
	2,0E+05	8,3		19	1,439	4	69,144	192,200	0,95	11,80	11,21	1,28	0,58	9,35	70,22%	16,28%	11,43%	
	5,0E+05	20,8		20	1,434	4	69,361	193,476	0,94	11,80	11,09	1,29	0,57	9,23	70,68%	16,45%	11,63%	
	7,5E+05	31,3		19	1,438	4	69,583	193,555	0,93	11,80	10,97	1,29	0,57	9,11	70,71%	16,63%	11,76%	
	1,0E+06	41,7		19	1,439	4	69,909	194,327	0,93	11,80	10,97	1,30	0,57	9,11	70,99%	16,63%	11,81%	
Média	0,0E+00	0,0	276,319	20	1,436	4	68,628	191,146	0,94	11,80	11,11	1,27	0,59	9,25	69,22%	16,58%	11,47%	
	1,0E+05	4,2		19	1,437	4	68,751	191,447	0,91	11,80	10,78	1,28	0,59	8,91	69,33%	17,12%	11,85%	
	2,0E+05	8,3		20	1,435	4	69,028	192,420	0,91	11,80	10,70	1,28	0,58	8,84	69,68%	17,25%	12,00%	
	5,0E+05	20,8		20	1,436	4	69,068	192,471	0,90	11,80	10,60	1,28	0,58	8,74	69,70%	17,41%	12,12%	
	7,5E+05	31,3		20	1,435	4	69,258	193,088	0,90	11,80	10,56	1,29	0,58	8,70	69,92%	17,47%	12,20%	
	1,0E+06	41,7		19	1,435	4	69,236	192,970	0,90	11,80	10,56	1,29	0,58	8,70	69,88%	17,46%	12,19%	
	Média			19	1,436	4	68,995	192,257	0,91	11,80	10,72	1,28	0,58	8,86	69,62%	17,22%	11,97%	

Rotor	Bomba			Fluido		Pressão de saída ajustada para 4 bar												
	n°	Usos (rev)	Usos (h)	Q nom (ml/min)	Temp. (°C)	ρ (g/ml)	P (bar)	Massa (g)	Q real (ml/min)	DCA (A)	DCV (V)	P total (Watt)	P vol (Watt)	P lift (Watt)	P mec (Watt)	η vol	η mec	η total
Alumínio Liga 6082	19	0,0E+00	0,0	283,459	19	1,438	4	79,807	222,025	0,88	11,80	10,38	1,48	0,38	8,52	78,33%	18,20%	14,25%
		1,0E+05	4,2		19	1,432	4	78,854	220,250	0,86	11,80	10,15	1,47	0,39	8,29	77,70%	18,62%	14,47%
		2,0E+05	8,3		19	1,440	4	79,193	220,054	0,86	11,80	10,15	1,47	0,40	8,29	77,63%	18,62%	14,46%
		5,0E+05	20,8		19	1,423	4	78,517	220,758	0,88	11,80	10,38	1,47	0,39	8,52	77,88%	18,20%	14,17%
		7,5E+05	31,3		19	1,438	4	80,195	223,092	0,89	11,80	10,50	1,49	0,38	8,64	78,70%	17,99%	14,16%
		1,0E+06	41,7		19	1,424	4	78,493	220,560	0,87	11,80	10,27	1,47	0,39	8,40	77,81%	18,41%	14,32%
	20	0,0E+00	0,0	282,132	19	1,424	4	85,241	239,488	0,96	11,80	11,33	1,60	0,27	9,47	84,89%	16,60%	14,09%
		1,0E+05	4,2		19	1,437	4	86,016	239,372	0,95	11,80	11,21	1,60	0,27	9,35	84,84%	16,78%	14,24%
		2,0E+05	8,3		19	1,404	4	81,598	232,466	0,94	11,80	11,09	1,55	0,31	9,23	82,40%	16,96%	13,97%
		5,0E+05	20,8		19	1,432	4	83,899	234,361	0,93	11,80	10,97	1,56	0,30	9,11	83,07%	17,14%	14,24%
		7,5E+05	31,3		19	1,439	4	84,637	235,318	0,97	11,80	11,45	1,57	0,29	9,58	83,41%	16,43%	13,71%
		1,0E+06	41,7		19	1,436	4	84,427	235,114	0,95	11,80	11,21	1,57	0,30	9,35	83,33%	16,78%	13,98%
	21	0,0E+00	0,0	278,612	19	1,441	4	77,502	215,098	0,90	11,80	10,62	1,43	0,43	8,76	77,20%	17,49%	13,50%
		1,0E+05	4,2		19	1,437	4	78,045	217,311	0,84	11,80	9,91	1,45	0,41	8,05	78,00%	18,74%	14,62%
		2,0E+05	8,3		19	1,435	4	77,914	217,200	0,84	11,80	9,91	1,45	0,41	8,05	77,96%	18,74%	14,61%
		5,0E+05	20,8		19	1,440	4	78,171	217,099	0,86	11,80	10,15	1,45	0,42	8,29	77,92%	18,30%	14,26%
		7,5E+05	31,3		19	1,437	4	76,708	213,535	0,86	11,80	10,15	1,42	0,44	8,29	76,64%	18,30%	14,03%
		1,0E+06	41,7		19	1,435	4	76,712	213,816	0,86	11,80	10,15	1,43	0,44	8,29	76,74%	18,30%	14,05%
	22	0,0E+00	0,0	283,394	20	1,438	4	79,937	222,356	0,86	11,80	10,15	1,48	0,38	8,29	78,46%	18,62%	14,61%
		1,0E+05	4,2		19	1,440	4	79,771	221,586	0,86	11,80	10,15	1,48	0,39	8,29	78,19%	18,62%	14,56%
		2,0E+05	8,3		20	1,437	4	79,863	222,305	0,86	11,80	10,15	1,48	0,38	8,29	78,44%	18,62%	14,60%
		5,0E+05	20,8		19	1,439	4	79,880	222,028	0,86	11,80	10,15	1,48	0,38	8,29	78,35%	18,62%	14,59%
		7,5E+05	31,3		19	1,440	4	80,035	222,289	0,87	11,80	10,27	1,48	0,38	8,40	78,44%	18,40%	14,44%
		1,0E+06	41,7		19	1,441	4	79,562	220,852	0,87	11,80	10,27	1,47	0,39	8,40	77,93%	18,40%	14,34%
23	0,0E+00	0,0	278,561	20	1,430	4	75,918	212,358	0,89	11,80	10,50	1,42	0,45	8,64	76,23%	17,68%	13,48%	
	1,0E+05	4,2		19	1,431	4	76,197	212,960	0,85	11,80	10,03	1,42	0,44	8,17	76,45%	18,52%	14,15%	
	2,0E+05	8,3		19	1,435	4	76,263	212,580	0,85	11,80	10,03	1,42	0,45	8,17	76,31%	18,52%	14,13%	
	5,0E+05	20,8		19	1,431	4	76,550	213,976	0,85	11,80	10,03	1,43	0,44	8,17	76,81%	18,52%	14,22%	
	7,5E+05	31,3		19	1,433	4	76,683	214,004	0,85	11,80	10,03	1,43	0,44	8,17	76,82%	18,52%	14,22%	
	1,0E+06	41,7		20	1,434	4	76,936	214,605	0,84	11,80	9,91	1,43	0,43	8,05	77,04%	18,74%	14,43%	
24	0,0E+00	0,0	283,377	20	1,439	4	83,553	232,253	0,87	11,80	10,27	1,55	0,31	8,40	81,96%	18,40%	15,08%	
	1,0E+05	4,2		19	1,440	4	83,815	232,803	0,86	11,80	10,15	1,55	0,31	8,29	82,15%	18,62%	15,29%	
	2,0E+05	8,3		19	1,441	4	83,968	233,083	0,86	11,80	10,15	1,55	0,31	8,29	82,25%	18,62%	15,31%	
	5,0E+05	20,8		20	1,439	4	83,880	233,178	0,85	11,80	10,03	1,55	0,31	8,17	82,29%	18,84%	15,50%	
	7,5E+05	31,3		20	1,438	4	84,041	233,788	0,85	11,80	10,03	1,56	0,30	8,17	82,50%	18,84%	15,54%	
	1,0E+06	41,7		19	1,440	4	84,273	234,092	0,85	11,80	10,03	1,56	0,30	8,17	82,61%	18,84%	15,56%	
Média	0,0E+00	0,0	281,589	20	1,435	4	80,326	223,930	0,89	11,80	10,54	1,49	0,36	8,68	79,51%	17,83%	14,17%	
	1,0E+05	4,2		19	1,436	4	80,450	224,047	0,87	11,80	10,27	1,49	0,36	8,40	79,56%	18,31%	14,55%	
	2,0E+05	8,3		19	1,432	4	79,800	222,948	0,87	11,80	10,25	1,49	0,37	8,38	79,17%	18,34%	14,51%	
	5,0E+05	20,8		19	1,434	4	80,150	223,567	0,87	11,80	10,29	1,49	0,37	8,42	79,39%	18,27%	14,50%	
	7,5E+05	31,3		19	1,437	4	80,383	223,671	0,88	11,80	10,40	1,49	0,37	8,54	79,42%	18,08%	14,35%	
	1,0E+06	41,7		19	1,435	4	80,067	223,173	0,87	11,80	10,31	1,49	0,37	8,44	79,24%	18,24%	14,45%	
	Média			19	1,435	4	80,196	223,556	0,88	11,80	10,34	1,49	0,37	8,48	79,38%	18,18%	14,42%	

Rotor	Bomba			Fluido		Pressão de saída ajustada para 5 bar												
	n°	Usos (rev)	Usos (h)	Q nom (ml/min)	Temp. (°C)	ρ (g/ml)	P (bar)	Massa (g)	Q real (ml/min)	DCA (A)	DCV (V)	P total (Watt)	P vol (Watt)	P lift (Watt)	P mec (Watt)	η vol	η mec	η total
SAE 12L14 Cromado	1	0,0E+00	0,0	279,399	19	1,433	5	80,230	223,981	0,89	11,80	10,50	1,87	0,46	8,17	80,17%	22,17%	17,77%
		1,0E+05	4,2		19	1,435	5	80,050	223,074	0,87	11,80	10,27	1,86	0,47	7,94	79,84%	22,68%	18,11%
		2,0E+05	8,3		19	1,437	5	79,330	220,821	0,87	11,80	10,27	1,84	0,49	7,94	79,03%	22,68%	17,92%
		5,0E+05	20,8		20	1,432	5	78,410	219,053	0,87	11,80	10,27	1,83	0,50	7,94	78,40%	22,68%	17,78%
		7,5E+05	31,3		19	1,436	5	79,575	221,673	0,90	11,80	10,62	1,85	0,48	8,29	79,34%	21,92%	17,39%
		1,0E+06	41,7		20	1,420	5	77,336	217,787	0,89	11,80	10,50	1,81	0,51	8,17	77,95%	22,17%	17,28%
	2	0,0E+00	0,0	280,213	19	1,437	5	77,088	214,521	0,89	11,80	10,50	1,79	0,55	8,17	76,56%	22,23%	17,02%
		1,0E+05	4,2		20	1,429	5	75,452	211,208	0,89	11,80	10,50	1,76	0,58	8,17	75,37%	22,23%	16,76%
		2,0E+05	8,3		19	1,432	5	75,330	210,419	0,88	11,80	10,38	1,75	0,58	8,05	75,09%	22,49%	16,89%
		5,0E+05	20,8		19	1,434	5	76,109	212,287	0,89	11,80	10,50	1,77	0,57	8,17	75,76%	22,23%	16,84%
		7,5E+05	31,3		20	1,433	5	75,394	210,404	0,88	11,80	10,38	1,75	0,58	8,05	75,09%	22,49%	16,89%
		1,0E+06	41,7		19	1,433	5	74,525	207,967	0,88	11,80	10,38	1,73	0,60	8,05	74,22%	22,49%	16,69%
	3	0,0E+00	0,0	272,860	19	1,435	5	79,385	221,276	0,91	11,80	10,74	1,84	0,43	8,46	81,10%	21,18%	17,17%
		1,0E+05	4,2		20	1,439	5	79,175	220,059	0,91	11,80	10,74	1,83	0,44	8,46	80,65%	21,18%	17,08%
		2,0E+05	8,3		19	1,438	5	79,115	220,014	0,89	11,80	10,50	1,83	0,44	8,23	80,63%	21,65%	17,46%
		5,0E+05	20,8		20	1,444	5	79,233	219,464	0,90	11,80	10,62	1,83	0,44	8,35	80,43%	21,41%	17,22%
		7,5E+05	31,3		20	1,441	5	78,020	216,596	0,89	11,80	10,50	1,80	0,47	8,23	79,38%	21,65%	17,19%
		1,0E+06	41,7		19	1,417	5	76,320	215,417	0,90	11,80	10,62	1,80	0,48	8,35	78,95%	21,41%	16,90%
	4	0,0E+00	0,0	291,465	19	1,437	5	81,418	226,633	0,90	11,80	10,62	1,89	0,54	8,19	77,76%	22,87%	17,78%
		1,0E+05	4,2		20	1,428	5	81,327	227,807	0,89	11,80	10,50	1,90	0,53	8,07	78,16%	23,13%	18,08%
		2,0E+05	8,3		20	1,434	5	81,002	225,947	0,89	11,80	10,50	1,88	0,55	8,07	77,52%	23,13%	17,93%
		5,0E+05	20,8		19	1,433	5	80,731	225,348	0,89	11,80	10,50	1,88	0,55	8,07	77,32%	23,13%	17,88%
		7,5E+05	31,3		20	1,433	5	80,777	225,426	0,90	11,80	10,62	1,88	0,55	8,19	77,34%	22,87%	17,69%
		1,0E+06	41,7		19	1,436	5	80,549	224,370	0,89	11,80	10,50	1,87	0,56	8,07	76,98%	23,13%	17,80%
5	0,0E+00	0,0	279,974	19	1,429	5	77,408	216,677	0,89	11,80	10,50	1,81	0,53	8,17	77,39%	22,22%	17,19%	
	1,0E+05	4,2		19	1,425	5	77,401	217,266	0,88	11,80	10,38	1,81	0,52	8,05	77,60%	22,47%	17,44%	
	2,0E+05	8,3		20	1,431	5	77,259	215,958	0,88	11,80	10,38	1,80	0,53	8,05	77,14%	22,47%	17,33%	
	5,0E+05	20,8		19	1,433	5	77,110	215,241	0,88	11,80	10,38	1,79	0,54	8,05	76,88%	22,47%	17,27%	
	7,5E+05	31,3		20	1,433	5	77,184	215,417	0,88	11,80	10,38	1,80	0,54	8,05	76,94%	22,47%	17,29%	
	1,0E+06	41,7		20	1,428	5	76,834	215,221	0,88	11,80	10,38	1,79	0,54	8,05	76,87%	22,47%	17,27%	
6	0,0E+00	0,0	272,753	19	1,435	5	79,319	221,092	0,91	11,80	10,74	1,84	0,43	8,47	81,06%	21,17%	17,16%	
	1,0E+05	4,2		19	1,439	5	79,294	220,390	0,91	11,80	10,74	1,84	0,44	8,47	80,80%	21,17%	17,10%	
	2,0E+05	8,3		20	1,438	5	79,158	220,134	0,91	11,80	10,74	1,83	0,44	8,47	80,71%	21,17%	17,08%	
	5,0E+05	20,8		20	1,444	5	79,007	218,838	0,91	11,80	10,74	1,82	0,45	8,47	80,23%	21,17%	16,98%	
	7,5E+05	31,3		20	1,441	5	78,853	218,908	0,91	11,80	10,74	1,82	0,45	8,47	80,26%	21,17%	16,99%	
	1,0E+06	41,7		20	1,417	5	78,535	221,669	0,91	11,80	10,74	1,85	0,43	8,47	81,27%	21,17%	17,20%	
Média	0,0E+00	0,0	279,444	19	1,434	5	79,141	220,697	0,90	11,80	10,60	1,84	0,48	8,27	79,00%	21,97%	17,35%	
	1,0E+05	4,2		20	1,433	5	78,783	219,967	0,89	11,80	10,52	1,83	0,49	8,19	78,74%	22,14%	17,43%	
	2,0E+05	8,3		20	1,435	5	78,532	218,882	0,89	11,80	10,46	1,82	0,50	8,13	78,35%	22,26%	17,44%	
	5,0E+05	20,8		20	1,437	5	78,433	218,372	0,89	11,80	10,50	1,82	0,50	8,17	78,17%	22,18%	17,33%	
	7,5E+05	31,3		20	1,436	5	78,301	218,071	0,89	11,80	10,54	1,82	0,51	8,21	78,06%	22,09%	17,24%	
	1,0E+06	41,7		20	1,425	5	77,350	217,072	0,89	11,80	10,52	1,81	0,53	8,19	77,71%	22,14%	17,19%	
	Média			19	1,433	5	78,423	218,843	0,89	11,80	10,52	1,82	0,50	8,20	78,34%	22,13%	17,33%	

Rotor	Bomba			Fluido		Pressão de saída ajustada para 5 bar												
	n°	Uso (rev)	Uso (h)	Q nom (ml/min)	Temp. (°C)	ρ (g/ml)	P (bar)	Massa (g)	Q real (ml/min)	DCA (A)	DCV (V)	P total (Watt)	P vol (Watt)	P lift (Watt)	P mec (Watt)	η vol	η mec	η total
Poliamida 6	7	0,0E+00	0,0	286,345	20	1,435	5	51,061	142,314	0,94	11,80	11,09	1,19	1,14	8,76	49,70%	21,51%	10,69%
		1,0E+05	4,2		20	1,442	5	51,059	141,598	0,89	11,80	10,50	1,18	1,15	8,17	49,45%	22,72%	11,24%
		2,0E+05	8,3		19	1,445	5	51,733	143,174	0,88	11,80	10,38	1,19	1,14	8,06	50,00%	22,98%	11,49%
		5,0E+05	20,8		19	1,445	5	51,976	143,854	0,87	11,80	10,27	1,20	1,13	7,94	50,24%	23,24%	11,68%
		7,5E+05	31,3		19	1,445	5	52,250	144,621	0,87	11,80	10,27	1,21	1,12	7,94	50,51%	23,24%	11,74%
		1,0E+06	41,7		19	1,445	5	52,128	144,279	0,87	11,80	10,27	1,20	1,13	7,94	50,39%	23,24%	11,71%
	8	0,0E+00	0,0	278,418	19	1,440	5	71,192	197,706	0,86	11,80	10,15	1,65	0,68	7,82	71,01%	22,86%	16,24%
		1,0E+05	4,2		20	1,439	5	70,932	197,137	0,85	11,80	10,03	1,64	0,69	7,70	70,81%	23,13%	16,38%
		2,0E+05	8,3		19	1,440	5	71,148	197,655	0,85	11,80	10,03	1,65	0,68	7,70	70,99%	23,13%	16,42%
		5,0E+05	20,8		19	1,441	5	71,184	197,552	0,84	11,80	9,91	1,65	0,68	7,58	70,96%	23,41%	16,61%
		7,5E+05	31,3		19	1,442	5	71,382	198,047	0,84	11,80	9,91	1,65	0,68	7,58	71,13%	23,41%	16,65%
		1,0E+06	41,7		19	1,444	5	71,449	197,936	0,84	11,80	9,91	1,65	0,68	7,58	71,09%	23,41%	16,64%
	9	0,0E+00	0,0	283,958	19	1,423	5	68,248	191,853	0,87	11,80	10,27	1,60	0,73	7,94	67,56%	23,05%	15,57%
		1,0E+05	4,2		19	1,445	5	69,666	192,884	0,86	11,80	10,15	1,61	0,72	7,82	67,93%	23,32%	15,84%
		2,0E+05	8,3		19	1,435	5	69,118	192,599	0,87	11,80	10,27	1,60	0,72	7,94	67,83%	23,05%	15,63%
		5,0E+05	20,8		19	1,434	5	69,429	193,687	0,85	11,80	10,03	1,61	0,71	7,70	68,21%	23,59%	16,09%
		7,5E+05	31,3		19	1,440	5	68,987	191,604	0,88	11,80	10,38	1,60	0,73	8,06	67,48%	22,79%	15,38%
		1,0E+06	41,7		19	1,411	5	66,231	187,762	0,96	11,80	11,33	1,56	0,76	9,00	66,12%	20,89%	13,81%
	10	0,0E+00	0,0	285,014	20	1,423	5	65,339	183,676	0,89	11,80	10,50	1,53	0,80	8,17	64,44%	22,62%	14,57%
		1,0E+05	4,2		19	1,445	5	65,341	180,910	0,88	11,80	10,38	1,51	0,82	8,06	63,47%	22,87%	14,52%
		2,0E+05	8,3		20	1,435	5	65,280	181,904	0,88	11,80	10,38	1,52	0,81	8,06	63,82%	22,87%	14,60%
		5,0E+05	20,8		19	1,434	5	65,775	183,493	0,88	11,80	10,38	1,53	0,80	8,06	64,38%	22,87%	14,73%
		7,5E+05	31,3		19	1,440	5	65,900	183,030	0,87	11,80	10,27	1,53	0,80	7,94	64,22%	23,14%	14,86%
		1,0E+06	41,7		19	1,411	5	66,030	187,192	0,87	11,80	10,27	1,56	0,77	7,94	65,68%	23,14%	15,20%
11	0,0E+00	0,0	277,430	19	1,421	5	69,768	196,391	0,88	11,80	10,38	1,64	0,69	8,06	70,79%	22,26%	15,76%	
	1,0E+05	4,2		19	1,427	5	69,889	195,905	0,88	11,80	10,38	1,63	0,70	8,06	70,61%	22,26%	15,72%	
	2,0E+05	8,3		20	1,430	5	69,946	195,653	0,88	11,80	10,38	1,63	0,70	8,06	70,52%	22,26%	15,70%	
	5,0E+05	20,8		20	1,425	5	70,233	197,145	0,88	11,80	10,38	1,64	0,69	8,06	71,06%	22,26%	15,82%	
	7,5E+05	31,3		20	1,431	5	70,487	197,029	0,89	11,80	10,50	1,64	0,69	8,17	71,02%	22,01%	15,63%	
	1,0E+06	41,7		20	1,429	5	70,804	198,178	0,89	11,80	10,50	1,65	0,68	8,17	71,43%	22,01%	15,73%	
12	0,0E+00	0,0	287,088	20	1,438	5	60,881	169,349	0,95	11,80	11,21	1,41	0,92	8,88	58,99%	21,34%	12,59%	
	1,0E+05	4,2		19	1,440	5	60,576	168,267	0,93	11,80	10,97	1,40	0,93	8,65	58,61%	21,80%	12,78%	
	2,0E+05	8,3		19	1,441	5	60,009	166,576	0,91	11,80	10,74	1,39	0,94	8,41	58,02%	22,28%	12,93%	
	5,0E+05	20,8		20	1,439	5	61,328	170,474	0,91	11,80	10,74	1,42	0,91	8,41	59,38%	22,28%	13,23%	
	7,5E+05	31,3		20	1,438	5	61,544	171,193	0,90	11,80	10,62	1,43	0,90	8,29	59,63%	22,53%	13,43%	
	1,0E+06	41,7		19	1,440	5	61,698	171,383	0,90	11,80	10,62	1,43	0,90	8,29	59,70%	22,53%	13,45%	
Média	0,0E+00	0,0	283,042	20	1,430	5	64,415	180,215	0,90	11,80	10,60	1,50	0,85	8,27	63,75%	22,27%	14,24%	
	1,0E+05	4,2		19	1,440	5	64,577	179,450	0,88	11,80	10,40	1,50	0,85	8,08	63,48%	22,68%	14,41%	
	2,0E+05	8,3		19	1,438	5	64,539	179,594	0,88	11,80	10,36	1,50	0,85	8,04	63,53%	22,76%	14,46%	
	5,0E+05	20,8		19	1,436	5	64,988	181,034	0,87	11,80	10,29	1,51	0,84	7,96	64,04%	22,94%	14,69%	
	7,5E+05	31,3		19	1,439	5	65,092	180,921	0,88	11,80	10,33	1,51	0,84	8,00	64,00%	22,85%	14,62%	
	1,0E+06	41,7		19	1,430	5	64,723	181,122	0,89	11,80	10,48	1,51	0,86	8,15	64,07%	22,54%	14,42%	
	Média			19	1,436	5	64,722	180,389	0,88	11,80	10,41	1,50	0,85	8,08	63,81%	22,68%	14,47%	

Rotor	Bomba			Fluido		Pressão de saída ajustada para 5 bar												
	n°	Usos (rev)	Usos (h)	Q nom (ml/min)	Temp. (°C)	ρ (g/ml)	P (bar)	Massa (g)	Q real (ml/min)	DCA (A)	DCV (V)	P total (Watt)	P vol (Watt)	P lift (Watt)	P mec (Watt)	η vol	η mec	η total
PEEK	13	0,0E+00	0,0	285,957	19	1,437	5	66,756	185,851	1,03	11,80	12,15	1,55	0,78	9,83	64,99%	19,61%	12,74%
		1,0E+05	4,2		19	1,444	5	66,453	184,121	0,89	11,80	10,50	1,53	0,79	8,17	64,39%	22,69%	14,61%
		2,0E+05	8,3		19	1,442	5	66,886	185,599	0,86	11,80	10,15	1,55	0,78	7,82	64,90%	23,48%	15,24%
		5,0E+05	20,8		19	1,445	5	66,922	185,292	0,85	11,80	10,03	1,54	0,78	7,70	64,80%	23,76%	15,39%
		7,5E+05	31,3		19	1,440	5	66,901	185,821	0,87	11,80	10,27	1,55	0,78	7,94	64,98%	23,21%	15,08%
		1,0E+06	41,7		19	1,445	5	66,846	185,020	0,89	11,80	10,50	1,54	0,79	8,17	64,70%	22,69%	14,68%
	14	0,0E+00	0,0	272,443	20	1,436	5	69,354	193,187	0,93	11,80	10,97	1,61	0,72	8,65	70,91%	20,69%	14,67%
		1,0E+05	4,2		19	1,428	5	69,481	194,625	0,90	11,80	10,62	1,62	0,71	8,29	71,44%	21,38%	15,27%
		2,0E+05	8,3		19	1,434	5	69,601	194,145	0,90	11,80	10,62	1,62	0,71	8,29	71,26%	21,38%	15,23%
		5,0E+05	20,8		19	1,431	5	69,828	195,187	0,90	11,80	10,62	1,63	0,70	8,29	71,64%	21,38%	15,32%
		7,5E+05	31,3		20	1,429	5	69,894	195,645	0,90	11,80	10,62	1,63	0,70	8,29	71,81%	21,38%	15,35%
		1,0E+06	41,7		19	1,427	5	70,107	196,516	0,89	11,80	10,50	1,64	0,69	8,17	72,13%	21,62%	15,59%
	15	0,0E+00	0,0	271,370	19	1,440	5	68,348	189,882	0,96	11,80	11,33	1,58	0,75	9,00	69,97%	19,96%	13,97%
		1,0E+05	4,2		19	1,440	5	68,801	191,154	0,91	11,80	10,74	1,59	0,74	8,41	70,44%	21,06%	14,83%
		2,0E+05	8,3		20	1,437	5	69,179	192,565	0,91	11,80	10,74	1,60	0,72	8,41	70,96%	21,06%	14,94%
		5,0E+05	20,8		20	1,437	5	68,955	191,888	0,90	11,80	10,62	1,60	0,73	8,29	70,71%	21,29%	15,06%
		7,5E+05	31,3		20	1,433	5	69,068	192,806	0,89	11,80	10,50	1,61	0,72	8,17	71,05%	21,53%	15,30%
		1,0E+06	41,7		20	1,435	5	68,520	190,997	0,88	11,80	10,38	1,59	0,74	8,06	70,38%	21,78%	15,33%
	16	0,0E+00	0,0	274,774	20	1,429	5	69,672	195,064	0,97	11,80	11,45	1,63	0,70	9,12	70,99%	20,01%	14,20%
		1,0E+05	4,2		19	1,429	5	70,191	196,476	0,97	11,80	11,45	1,64	0,69	9,12	71,50%	20,01%	14,30%
		2,0E+05	8,3		20	1,419	5	70,356	198,326	0,97	11,80	11,45	1,65	0,68	9,12	72,18%	20,01%	14,44%
		5,0E+05	20,8		20	1,424	5	70,491	198,008	0,96	11,80	11,33	1,65	0,68	9,00	72,06%	20,21%	14,57%
		7,5E+05	31,3		20	1,428	5	70,700	198,039	0,95	11,80	11,21	1,65	0,68	8,88	72,07%	20,43%	14,72%
		1,0E+06	41,7		19	1,423	5	70,958	199,460	0,95	11,80	11,21	1,66	0,67	8,88	72,59%	20,43%	14,83%
17	0,0E+00	0,0	279,646	19	1,442	5	66,533	184,558	0,95	11,80	11,21	1,54	0,79	8,88	66,00%	20,79%	13,72%	
	1,0E+05	4,2		19	1,443	5	66,834	185,251	0,91	11,80	10,74	1,54	0,78	8,41	66,24%	21,70%	14,38%	
	2,0E+05	8,3		20	1,440	5	66,675	185,208	0,90	11,80	10,62	1,54	0,78	8,29	66,23%	21,94%	14,53%	
	5,0E+05	20,8		19	1,442	5	66,892	185,528	0,89	11,80	10,50	1,55	0,78	8,17	66,34%	22,19%	14,72%	
	7,5E+05	31,3		20	1,441	5	67,310	186,842	0,89	11,80	10,50	1,56	0,77	8,17	66,81%	22,19%	14,83%	
	1,0E+06	41,7		19	1,443	5	67,404	186,844	0,88	11,80	10,38	1,56	0,77	8,06	66,81%	22,44%	14,99%	
18	0,0E+00	0,0	273,723	20	1,434	5	68,334	190,611	0,96	11,80	11,33	1,59	0,74	9,00	69,64%	20,14%	14,02%	
	1,0E+05	4,2		19	1,436	5	68,390	190,501	0,96	11,80	11,33	1,59	0,74	9,00	69,60%	20,14%	14,01%	
	2,0E+05	8,3		19	1,439	5	68,458	190,293	0,96	11,80	11,33	1,59	0,74	9,00	69,52%	20,14%	14,00%	
	5,0E+05	20,8		20	1,434	5	68,701	191,635	0,95	11,80	11,21	1,60	0,73	8,88	70,01%	20,35%	14,25%	
	7,5E+05	31,3		19	1,438	5	69,014	191,972	0,94	11,80	11,09	1,60	0,73	8,76	70,13%	20,56%	14,42%	
	1,0E+06	41,7		19	1,439	5	69,456	193,067	0,94	11,80	11,09	1,61	0,72	8,76	70,53%	20,56%	14,51%	
Média	0,0E+00	0,0	276,319	20	1,436	5	68,166	189,859	0,97	11,80	11,41	1,58	0,75	9,08	68,75%	20,20%	13,89%	
	1,0E+05	4,2		19	1,437	5	68,358	190,355	0,92	11,80	10,90	1,59	0,75	8,57	68,94%	21,16%	14,57%	
	2,0E+05	8,3		20	1,435	5	68,526	191,023	0,92	11,80	10,82	1,59	0,74	8,49	69,18%	21,33%	14,73%	
	5,0E+05	20,8		20	1,436	5	68,632	191,256	0,91	11,80	10,72	1,59	0,74	8,39	69,26%	21,53%	14,88%	
	7,5E+05	31,3		20	1,435	5	68,815	191,854	0,91	11,80	10,70	1,60	0,73	8,37	69,48%	21,55%	14,95%	
	1,0E+06	41,7		19	1,435	5	68,882	191,984	0,91	11,80	10,68	1,60	0,74	8,35	69,53%	21,59%	14,99%	
	Média			19	1,436	5	68,563	191,055	0,92	11,80	10,87	1,59	0,74	8,54	69,19%	21,23%	14,67%	

Rotor	Bomba			Fluido		Pressão de saída ajustada para 5 bar												
	n°	Usos (rev)	Usos (h)	Q nom (ml/min)	Temp. (°C)	ρ (g/ml)	P (bar)	Massa (g)	Q real (ml/min)	DCA (A)	DCV (V)	P total (Watt)	P vol (Watt)	P lift (Watt)	P mec (Watt)	η vol	η mec	η total
Alumínio Liga 6082	19	0,0E+00	0,0	283,459	19	1,438	5	79,314	220,654	0,88	11,80	10,38	1,84	0,49	8,06	77,84%	22,75%	17,71%
		1,0E+05	4,2		19	1,432	5	78,292	218,681	0,87	11,80	10,27	1,82	0,51	7,94	77,15%	23,01%	17,75%
		2,0E+05	8,3		19	1,440	5	78,552	218,273	0,87	11,80	10,27	1,82	0,51	7,94	77,00%	23,01%	17,72%
		5,0E+05	20,8		19	1,423	5	78,169	219,780	0,89	11,80	10,50	1,83	0,50	8,17	77,53%	22,49%	17,44%
		7,5E+05	31,3		19	1,438	5	79,510	221,187	0,90	11,80	10,62	1,84	0,49	8,29	78,03%	22,24%	17,36%
		1,0E+06	41,7		19	1,424	5	77,914	218,933	0,88	11,80	10,38	1,82	0,50	8,06	77,24%	22,75%	17,57%
	20	0,0E+00	0,0	282,132	19	1,424	5	84,124	236,350	0,97	11,80	11,45	1,97	0,36	9,12	83,77%	20,54%	17,21%
		1,0E+05	4,2		19	1,437	5	84,294	234,580	0,97	11,80	11,45	1,95	0,37	9,12	83,15%	20,54%	17,08%
		2,0E+05	8,3		19	1,404	5	80,154	228,352	0,97	11,80	11,45	1,90	0,43	9,12	80,94%	20,54%	16,63%
		5,0E+05	20,8		19	1,432	5	82,766	231,196	0,96	11,80	11,33	1,93	0,40	9,00	81,95%	20,75%	17,01%
		7,5E+05	31,3		19	1,439	5	83,509	232,182	0,98	11,80	11,56	1,93	0,39	9,24	82,30%	20,33%	16,73%
		1,0E+06	41,7		19	1,436	5	83,260	231,864	0,96	11,80	11,33	1,93	0,40	9,00	82,18%	20,75%	17,06%
	21	0,0E+00	0,0	278,612	19	1,441	5	76,946	213,555	0,91	11,80	10,74	1,78	0,55	8,41	76,65%	21,62%	16,57%
		1,0E+05	4,2		19	1,437	5	77,485	215,752	0,85	11,80	10,03	1,80	0,53	7,70	77,44%	23,15%	17,93%
		2,0E+05	8,3		19	1,435	5	77,372	215,689	0,85	11,80	10,03	1,80	0,53	7,70	77,42%	23,15%	17,92%
		5,0E+05	20,8		19	1,440	5	77,690	215,764	0,87	11,80	10,27	1,80	0,53	7,94	77,44%	22,62%	17,51%
		7,5E+05	31,3		19	1,437	5	75,844	211,129	0,87	11,80	10,27	1,76	0,57	7,94	75,78%	22,62%	17,14%
		1,0E+06	41,7		19	1,435	5	75,801	211,277	0,87	11,80	10,27	1,76	0,57	7,94	75,83%	22,62%	17,15%
	22	0,0E+00	0,0	283,394	20	1,438	5	79,384	220,818	0,87	11,80	10,27	1,84	0,49	7,94	77,92%	23,00%	17,92%
		1,0E+05	4,2		19	1,440	5	79,101	219,725	0,87	11,80	10,27	1,83	0,50	7,94	77,53%	23,00%	17,84%
		2,0E+05	8,3		20	1,437	5	79,252	220,604	0,87	11,80	10,27	1,84	0,49	7,94	77,84%	23,00%	17,91%
		5,0E+05	20,8		19	1,439	5	79,366	220,599	0,87	11,80	10,27	1,84	0,49	7,94	77,84%	23,00%	17,91%
		7,5E+05	31,3		19	1,440	5	79,558	220,964	0,88	11,80	10,38	1,84	0,49	8,06	77,97%	22,74%	17,73%
		1,0E+06	41,7		19	1,441	5	79,004	219,303	0,88	11,80	10,38	1,83	0,50	8,06	77,38%	22,74%	17,60%
23	0,0E+00	0,0	278,561	20	1,430	5	75,445	211,035	0,90	11,80	10,62	1,76	0,57	8,29	75,76%	21,86%	16,56%	
	1,0E+05	4,2		19	1,431	5	75,761	211,741	0,86	11,80	10,15	1,76	0,56	7,82	76,01%	22,87%	17,39%	
	2,0E+05	8,3		19	1,435	5	75,829	211,370	0,86	11,80	10,15	1,76	0,57	7,82	75,88%	22,87%	17,36%	
	5,0E+05	20,8		19	1,431	5	76,002	212,444	0,86	11,80	10,15	1,77	0,56	7,82	76,26%	22,87%	17,45%	
	7,5E+05	31,3		19	1,433	5	76,197	212,648	0,86	11,80	10,15	1,77	0,56	7,82	76,34%	22,87%	17,46%	
	1,0E+06	41,7		20	1,434	5	76,506	213,406	0,85	11,80	10,03	1,78	0,55	7,70	76,61%	23,14%	17,73%	
24	0,0E+00	0,0	283,377	20	1,439	5	83,023	230,780	0,88	11,80	10,38	1,92	0,41	8,06	81,44%	22,74%	18,52%	
	1,0E+05	4,2		19	1,440	5	83,374	231,578	0,87	11,80	10,27	1,93	0,40	7,94	81,72%	23,00%	18,80%	
	2,0E+05	8,3		19	1,441	5	83,447	231,636	0,87	11,80	10,27	1,93	0,40	7,94	81,74%	23,00%	18,80%	
	5,0E+05	20,8		20	1,439	5	83,490	232,094	0,86	11,80	10,15	1,93	0,39	7,82	81,90%	23,27%	19,06%	
	7,5E+05	31,3		20	1,438	5	83,612	232,595	0,86	11,80	10,15	1,94	0,39	7,82	82,08%	23,27%	19,10%	
	1,0E+06	41,7		19	1,440	5	83,883	233,008	0,86	11,80	10,15	1,94	0,39	7,82	82,23%	23,27%	19,13%	
Média	0,0E+00	0,0	281,589	20	1,435	5	79,706	222,199	0,90	11,80	10,64	1,85	0,47	8,31	78,90%	22,09%	17,42%	
	1,0E+05	4,2		19	1,436	5	79,718	222,009	0,88	11,80	10,40	1,85	0,47	8,08	78,83%	22,60%	17,80%	
	2,0E+05	8,3		19	1,432	5	79,101	220,987	0,88	11,80	10,40	1,84	0,49	8,08	78,47%	22,60%	17,72%	
	5,0E+05	20,8		19	1,434	5	79,581	221,979	0,89	11,80	10,44	1,85	0,48	8,11	78,82%	22,50%	17,73%	
	7,5E+05	31,3		19	1,437	5	79,705	221,784	0,89	11,80	10,52	1,85	0,48	8,19	78,75%	22,35%	17,59%	
	1,0E+06	41,7		19	1,435	5	79,395	221,299	0,88	11,80	10,42	1,84	0,49	8,10	78,58%	22,55%	17,71%	
	Média			19	1,435	5	79,534	221,710	0,89	11,80	10,47	1,85	0,48	8,14	78,72%	22,45%	17,66%	

Rotor	Bomba			Fluido		Pressão de saída ajustada para 6 bar												
	n°	Usos (rev)	Usos (h)	Q nom (ml/min)	Temp. (°C)	ρ (g/ml)	P (bar)	Massa (g)	Q real (ml/min)	DCA (A)	DCV (V)	P total (Watt)	P vol (Watt)	P lift (Watt)	P mec (Watt)	η vol	η mec	η total
SAE 12L14 Cromado	1	0,0E+00	0,0	279,399	19	1,433	6	78,780	219,933	0,91	11,80	10,74	2,20	0,59	7,94	78,72%	26,02%	20,48%
		1,0E+05	4,2		19	1,435	6	79,241	220,819	0,89	11,80	10,50	2,21	0,59	7,71	79,03%	26,60%	21,03%
		2,0E+05	8,3		19	1,437	6	78,078	217,336	0,88	11,80	10,38	2,17	0,62	7,59	77,79%	26,91%	20,93%
		5,0E+05	20,8		20	1,432	6	77,867	217,536	0,89	11,80	10,50	2,18	0,62	7,71	77,86%	26,60%	20,71%
		7,5E+05	31,3		19	1,436	6	78,740	219,347	0,90	11,80	10,62	2,19	0,60	7,83	78,51%	26,31%	20,65%
		1,0E+06	41,7		20	1,420	6	75,966	213,928	0,90	11,80	10,62	2,14	0,65	7,83	76,57%	26,31%	20,14%
	2	0,0E+00	0,0	280,213	19	1,437	6	75,818	210,987	0,90	11,80	10,62	2,11	0,69	7,82	75,30%	26,39%	19,87%
		1,0E+05	4,2		20	1,429	6	74,720	209,159	0,90	11,80	10,62	2,09	0,71	7,82	74,64%	26,39%	19,69%
		2,0E+05	8,3		19	1,432	6	74,134	207,078	0,89	11,80	10,50	2,07	0,73	7,70	73,90%	26,68%	19,72%
		5,0E+05	20,8		19	1,434	6	74,204	206,973	0,90	11,80	10,62	2,07	0,73	7,82	73,86%	26,39%	19,49%
		7,5E+05	31,3		20	1,433	6	74,143	206,913	0,88	11,80	10,38	2,07	0,73	7,58	73,84%	26,99%	19,93%
		1,0E+06	41,7		19	1,433	6	73,222	204,331	0,88	11,80	10,38	2,04	0,76	7,58	72,92%	26,99%	19,68%
	3	0,0E+00	0,0	272,860	19	1,435	6	78,489	218,779	0,92	11,80	10,86	2,19	0,54	8,13	80,18%	25,13%	20,15%
		1,0E+05	4,2		20	1,439	6	78,289	217,596	0,91	11,80	10,74	2,18	0,55	8,01	79,75%	25,41%	20,26%
		2,0E+05	8,3		19	1,438	6	78,754	219,011	0,90	11,80	10,62	2,19	0,54	7,89	80,26%	25,69%	20,62%
		5,0E+05	20,8		20	1,444	6	78,556	217,589	0,91	11,80	10,74	2,18	0,55	8,01	79,74%	25,41%	20,26%
		7,5E+05	31,3		20	1,441	6	77,357	214,755	0,91	11,80	10,74	2,15	0,58	8,01	78,71%	25,41%	20,00%
		1,0E+06	41,7		19	1,417	6	75,733	213,760	0,91	11,80	10,74	2,14	0,59	8,01	78,34%	25,41%	19,91%
	4	0,0E+00	0,0	291,465	19	1,437	6	80,681	224,582	0,91	11,80	10,74	2,25	0,67	7,82	77,05%	27,14%	20,91%
		1,0E+05	4,2		20	1,428	6	80,551	225,633	0,90	11,80	10,62	2,26	0,66	7,71	77,41%	27,44%	21,25%
		2,0E+05	8,3		20	1,434	6	80,309	224,014	0,90	11,80	10,62	2,24	0,67	7,71	76,86%	27,44%	21,09%
		5,0E+05	20,8		19	1,433	6	80,124	223,654	0,91	11,80	10,74	2,24	0,68	7,82	76,73%	27,14%	20,83%
		7,5E+05	31,3		20	1,433	6	80,077	223,473	0,90	11,80	10,62	2,23	0,68	7,71	76,67%	27,44%	21,04%
		1,0E+06	41,7		19	1,436	6	80,002	222,847	0,90	11,80	10,62	2,23	0,69	7,71	76,46%	27,44%	20,98%
5	0,0E+00	0,0	279,974	19	1,429	6	76,731	214,782	0,90	11,80	10,62	2,15	0,65	7,82	76,72%	26,36%	20,22%	
	1,0E+05	4,2		19	1,425	6	76,602	215,022	0,89	11,80	10,50	2,15	0,65	7,70	76,80%	26,66%	20,47%	
	2,0E+05	8,3		20	1,431	6	76,496	213,825	0,89	11,80	10,50	2,14	0,66	7,70	76,37%	26,66%	20,36%	
	5,0E+05	20,8		19	1,433	6	76,722	214,158	0,89	11,80	10,50	2,14	0,66	7,70	76,49%	26,66%	20,39%	
	7,5E+05	31,3		20	1,433	6	76,633	213,879	0,89	11,80	10,50	2,14	0,66	7,70	76,39%	26,66%	20,37%	
	1,0E+06	41,7		20	1,428	6	76,027	212,961	0,89	11,80	10,50	2,13	0,67	7,70	76,06%	26,66%	20,28%	
6	0,0E+00	0,0	272,753	19	1,435	6	78,808	219,668	0,92	11,80	10,86	2,20	0,53	8,13	80,54%	25,12%	20,23%	
	1,0E+05	4,2		19	1,439	6	78,714	218,778	0,91	11,80	10,74	2,19	0,54	8,01	80,21%	25,40%	20,37%	
	2,0E+05	8,3		20	1,438	6	78,663	218,757	0,92	11,80	10,86	2,19	0,54	8,13	80,20%	25,12%	20,15%	
	5,0E+05	20,8		20	1,444	6	78,483	217,386	0,91	11,80	10,74	2,17	0,55	8,01	79,70%	25,40%	20,24%	
	7,5E+05	31,3		20	1,441	6	78,441	217,765	0,92	11,80	10,86	2,18	0,55	8,13	79,84%	25,12%	20,06%	
	1,0E+06	41,7		20	1,417	6	78,150	220,582	0,92	11,80	10,86	2,21	0,52	8,13	80,87%	25,12%	20,32%	
Média	0,0E+00	0,0	279,444	19	1,434	6	78,218	218,122	0,91	11,80	10,74	2,18	0,61	7,94	78,08%	26,03%	20,31%	
	1,0E+05	4,2		20	1,433	6	78,019	217,835	0,90	11,80	10,62	2,18	0,62	7,83	77,97%	26,32%	20,51%	
	2,0E+05	8,3		20	1,435	6	77,739	216,670	0,90	11,80	10,58	2,17	0,63	7,79	77,56%	26,42%	20,48%	
	5,0E+05	20,8		20	1,437	6	77,659	216,216	0,90	11,80	10,64	2,16	0,63	7,85	77,40%	26,27%	20,32%	
	7,5E+05	31,3		20	1,436	6	77,565	216,022	0,90	11,80	10,62	2,16	0,64	7,83	77,33%	26,32%	20,34%	
	1,0E+06	41,7		20	1,425	6	76,517	214,735	0,90	11,80	10,62	2,15	0,67	7,83	76,87%	26,32%	20,22%	
	Média			19	1,433	6	77,620	216,600	0,90	11,80	10,64	2,17	0,63	7,84	77,54%	26,28%	20,36%	

Rotor	Bomba			Fluido		Pressão de saída ajustada para 6 bar												
	n°	Usos (rev)	Usos (h)	Q nom (ml/min)	Temp. (°C)	ρ (g/ml)	P (bar)	Massa (g)	Q real (ml/min)	DCA (A)	DCV (V)	P total (Watt)	P vol (Watt)	P lift (Watt)	P mec (Watt)	η vol	η mec	η total
Poliâmida 6	7	0,0E+00	0,0	286,345	20	1,435	6	50,673	141,233	0,94	11,80	11,09	1,41	1,38	8,30	49,32%	25,82%	12,73%
		1,0E+05	4,2		20	1,442	6	50,761	140,772	0,90	11,80	10,62	1,41	1,39	7,83	49,16%	26,96%	13,26%
		2,0E+05	8,3		19	1,445	6	51,408	142,274	0,89	11,80	10,50	1,42	1,37	7,71	49,69%	27,27%	13,55%
		5,0E+05	20,8		19	1,445	6	51,546	142,664	0,88	11,80	10,38	1,43	1,37	7,59	49,82%	27,58%	13,74%
		7,5E+05	31,3		19	1,445	6	51,912	143,685	0,88	11,80	10,38	1,44	1,36	7,59	50,18%	27,58%	13,84%
		1,0E+06	41,7		19	1,445	6	51,767	143,280	0,88	11,80	10,38	1,43	1,36	7,59	50,04%	27,58%	13,80%
	8	0,0E+00	0,0	278,418	19	1,440	6	70,342	195,346	0,86	11,80	10,15	1,95	0,84	7,35	70,16%	27,44%	19,25%
		1,0E+05	4,2		20	1,439	6	69,636	193,535	0,86	11,80	10,15	1,94	0,86	7,35	69,51%	27,44%	19,07%
		2,0E+05	8,3		19	1,440	6	70,120	194,799	0,86	11,80	10,15	1,95	0,85	7,35	69,97%	27,44%	19,20%
		5,0E+05	20,8		19	1,441	6	70,105	194,558	0,85	11,80	10,03	1,95	0,85	7,24	69,88%	27,76%	19,40%
		7,5E+05	31,3		19	1,442	6	70,242	194,884	0,85	11,80	10,03	1,95	0,85	7,24	70,00%	27,76%	19,43%
		1,0E+06	41,7		19	1,444	6	70,382	194,980	0,85	11,80	10,03	1,95	0,84	7,24	70,03%	27,76%	19,44%
	9	0,0E+00	0,0	283,958	19	1,423	6	67,688	190,279	0,88	11,80	10,38	1,90	0,89	7,59	67,01%	27,35%	18,32%
		1,0E+05	4,2		19	1,445	6	69,226	191,666	0,87	11,80	10,27	1,92	0,88	7,47	67,50%	27,66%	18,67%
		2,0E+05	8,3		19	1,435	6	68,645	191,281	0,88	11,80	10,38	1,91	0,88	7,59	67,36%	27,35%	18,42%
		5,0E+05	20,8		19	1,434	6	68,870	192,127	0,86	11,80	10,15	1,92	0,87	7,35	67,66%	27,98%	18,93%
		7,5E+05	31,3		19	1,440	6	68,560	190,418	0,89	11,80	10,50	1,90	0,89	7,71	67,06%	27,04%	18,13%
		1,0E+06	41,7		19	1,411	6	65,919	186,877	0,97	11,80	11,45	1,87	0,93	8,65	65,81%	24,81%	16,33%
	10	0,0E+00	0,0	285,014	20	1,423	6	64,551	181,461	0,90	11,80	10,62	1,81	0,98	7,83	63,67%	26,84%	17,09%
		1,0E+05	4,2		19	1,445	6	64,419	178,357	0,89	11,80	10,50	1,78	1,01	7,71	62,58%	27,14%	16,98%
		2,0E+05	8,3		20	1,435	6	64,642	180,127	0,89	11,80	10,50	1,80	0,99	7,71	63,20%	27,14%	17,15%
		5,0E+05	20,8		19	1,434	6	65,005	181,345	0,89	11,80	10,50	1,81	0,98	7,71	63,63%	27,14%	17,27%
		7,5E+05	31,3		19	1,440	6	65,197	181,078	0,89	11,80	10,50	1,81	0,98	7,71	63,53%	27,14%	17,24%
		1,0E+06	41,7		19	1,411	6	65,237	184,944	0,88	11,80	10,38	1,85	0,94	7,59	64,89%	27,45%	17,81%
	11	0,0E+00	0,0	277,430	19	1,421	6	69,120	194,567	0,90	11,80	10,62	1,95	0,85	7,83	70,13%	26,12%	18,32%
		1,0E+05	4,2		19	1,427	6	69,396	194,523	0,89	11,80	10,50	1,95	0,85	7,71	70,12%	26,42%	18,52%
		2,0E+05	8,3		20	1,430	6	69,445	194,252	0,90	11,80	10,62	1,94	0,85	7,83	70,02%	26,12%	18,29%
		5,0E+05	20,8		20	1,425	6	69,730	195,733	0,90	11,80	10,62	1,96	0,84	7,83	70,55%	26,12%	18,43%
		7,5E+05	31,3		20	1,431	6	69,997	195,659	0,90	11,80	10,62	1,96	0,84	7,83	70,53%	26,12%	18,42%
		1,0E+06	41,7		20	1,429	6	70,332	196,857	0,90	11,80	10,62	1,97	0,83	7,83	70,96%	26,12%	18,54%
	12	0,0E+00	0,0	287,088	20	1,438	6	60,218	167,505	0,96	11,80	11,33	1,68	1,12	8,53	58,35%	25,34%	14,79%
		1,0E+05	4,2		19	1,440	6	59,966	166,572	0,94	11,80	11,09	1,67	1,13	8,30	58,02%	25,88%	15,02%
		2,0E+05	8,3		19	1,441	6	59,675	165,649	0,92	11,80	10,86	1,66	1,14	8,06	57,70%	26,45%	15,26%
		5,0E+05	20,8		20	1,439	6	60,603	168,459	0,92	11,80	10,86	1,68	1,11	8,06	58,68%	26,45%	15,52%
		7,5E+05	31,3		20	1,438	6	60,842	169,241	0,91	11,80	10,74	1,69	1,10	7,94	58,95%	26,74%	15,76%
		1,0E+06	41,7		19	1,440	6	60,990	169,417	0,91	11,80	10,74	1,69	1,10	7,94	59,01%	26,74%	15,78%
	Média	0,0E+00	0,0	283,042	20	1,430	6	63,765	178,398	0,91	11,80	10,70	1,78	1,04	7,90	63,11%	26,48%	16,75%
		1,0E+05	4,2		19	1,440	6	63,901	177,571	0,89	11,80	10,52	1,78	1,04	7,73	62,81%	26,92%	16,92%
		2,0E+05	8,3		19	1,438	6	63,989	178,064	0,89	11,80	10,50	1,78	1,03	7,71	62,99%	26,96%	16,98%
		5,0E+05	20,8		19	1,436	6	64,310	179,148	0,88	11,80	10,42	1,79	1,03	7,63	63,37%	27,17%	17,21%
		7,5E+05	31,3		19	1,439	6	64,458	179,161	0,89	11,80	10,46	1,79	1,03	7,67	63,37%	27,06%	17,14%
		1,0E+06	41,7		19	1,430	6	64,105	179,392	0,90	11,80	10,60	1,79	1,04	7,81	63,46%	26,74%	16,95%
	Média			19	1,436	6	64,088	178,622	0,89	11,80	10,53	1,79	1,04	7,74	63,19%	26,89%	16,99%	

Rotor	Bomba			Fluido		Pressão de saída ajustada para 6 bar												
	n°	Usos (rev)	Usos (h)	Q nom (ml/min)	Temp. (°C)	ρ (g/ml)	P (bar)	Massa (g)	Q real (ml/min)	DCA (A)	DCV (V)	P total (Watt)	P vol (Watt)	P lift (Watt)	P mec (Watt)	η vol	η mec	η total
PEEK	13	0,0E+00	0,0	285,957	19	1,437	6	66,081	183,972	1,04	11,80	12,27	1,84	0,95	9,48	64,34%	23,30%	14,99%
		1,0E+05	4,2		19	1,444	6	65,715	182,076	0,90	11,80	10,62	1,82	0,97	7,83	63,67%	26,93%	17,14%
		2,0E+05	8,3		19	1,442	6	66,157	183,576	0,87	11,80	10,27	1,84	0,96	7,47	64,20%	27,85%	17,88%
		5,0E+05	20,8		19	1,445	6	66,116	183,061	0,86	11,80	10,15	1,83	0,96	7,35	64,02%	28,18%	18,04%
		7,5E+05	31,3		19	1,440	6	66,099	183,593	0,88	11,80	10,38	1,84	0,96	7,59	64,20%	27,54%	17,68%
		1,0E+06	41,7		19	1,445	6	65,545	181,419	0,90	11,80	10,62	1,81	0,98	7,83	63,44%	26,93%	17,08%
	14	0,0E+00	0,0	272,443	20	1,436	6	68,777	191,579	0,94	11,80	11,09	1,92	0,88	8,30	70,32%	24,56%	17,27%
		1,0E+05	4,2		19	1,428	6	68,798	192,711	0,91	11,80	10,74	1,93	0,87	7,94	70,73%	25,37%	17,95%
		2,0E+05	8,3		19	1,434	6	68,911	192,220	0,91	11,80	10,74	1,92	0,87	7,94	70,55%	25,37%	17,90%
		5,0E+05	20,8		19	1,431	6	69,205	193,445	0,91	11,80	10,74	1,93	0,86	7,94	71,00%	25,37%	18,02%
		7,5E+05	31,3		20	1,429	6	69,364	194,161	0,91	11,80	10,74	1,94	0,85	7,94	71,27%	25,37%	18,08%
		1,0E+06	41,7		19	1,427	6	69,673	195,299	0,90	11,80	10,62	1,95	0,84	7,83	71,68%	25,65%	18,39%
	15	0,0E+00	0,0	271,370	19	1,440	6	68,004	188,926	0,97	11,80	11,45	1,89	0,90	8,65	69,62%	23,71%	16,51%
		1,0E+05	4,2		19	1,440	6	68,441	190,154	0,92	11,80	10,86	1,90	0,89	8,06	70,07%	25,00%	17,52%
		2,0E+05	8,3		20	1,437	6	68,822	191,571	0,92	11,80	10,86	1,92	0,88	8,06	70,59%	25,00%	17,65%
		5,0E+05	20,8		20	1,437	6	68,696	191,167	0,91	11,80	10,74	1,91	0,88	7,94	70,45%	25,27%	17,80%
		7,5E+05	31,3		20	1,433	6	68,611	191,530	0,90	11,80	10,62	1,92	0,88	7,83	70,58%	25,55%	18,03%
		1,0E+06	41,7		20	1,435	6	68,173	190,029	0,89	11,80	10,50	1,90	0,89	7,71	70,03%	25,84%	18,09%
	16	0,0E+00	0,0	274,774	20	1,429	6	69,002	193,188	0,98	11,80	11,56	1,93	0,86	8,77	70,31%	23,76%	16,71%
		1,0E+05	4,2		19	1,429	6	69,473	194,466	0,98	11,80	11,56	1,94	0,85	8,77	70,77%	23,76%	16,82%
		2,0E+05	8,3		20	1,419	6	69,606	196,211	0,98	11,80	11,56	1,96	0,83	8,77	71,41%	23,76%	16,97%
		5,0E+05	20,8		20	1,424	6	70,034	196,725	0,97	11,80	11,45	1,97	0,83	8,65	71,59%	24,01%	17,19%
		7,5E+05	31,3		20	1,428	6	70,289	196,888	0,96	11,80	11,33	1,97	0,83	8,53	71,65%	24,26%	17,38%
		1,0E+06	41,7		19	1,423	6	70,482	198,122	0,96	11,80	11,33	1,98	0,81	8,53	72,10%	24,26%	17,49%
	17	0,0E+00	0,0	279,646	19	1,442	6	66,160	183,523	0,96	11,80	11,33	1,84	0,96	8,53	65,63%	24,69%	16,20%
		1,0E+05	4,2		19	1,443	6	66,372	183,971	0,92	11,80	10,86	1,84	0,95	8,06	65,79%	25,76%	16,95%
		2,0E+05	8,3		20	1,440	6	66,445	184,569	0,91	11,80	10,74	1,85	0,95	7,94	66,00%	26,04%	17,19%
		5,0E+05	20,8		19	1,442	6	66,628	184,795	0,90	11,80	10,62	1,85	0,95	7,83	66,08%	26,33%	17,40%
		7,5E+05	31,3		20	1,441	6	66,911	185,735	0,90	11,80	10,62	1,86	0,94	7,83	66,42%	26,33%	17,49%
		1,0E+06	41,7		19	1,443	6	67,088	185,968	0,89	11,80	10,50	1,86	0,93	7,71	66,50%	26,63%	17,71%
	18	0,0E+00	0,0	273,723	20	1,434	6	67,887	189,364	0,97	11,80	11,45	1,89	0,90	8,65	69,18%	23,91%	16,54%
		1,0E+05	4,2		19	1,436	6	67,962	189,309	0,97	11,80	11,45	1,89	0,90	8,65	69,16%	23,91%	16,54%
		2,0E+05	8,3		19	1,439	6	68,070	189,215	0,97	11,80	11,45	1,89	0,90	8,65	69,13%	23,91%	16,53%
		5,0E+05	20,8		20	1,434	6	68,257	190,396	0,96	11,80	11,33	1,90	0,89	8,53	69,56%	24,16%	16,81%
		7,5E+05	31,3		19	1,438	6	68,406	190,281	0,96	11,80	11,33	1,90	0,89	8,53	69,52%	24,16%	16,80%
		1,0E+06	41,7		19	1,439	6	68,752	191,110	0,95	11,80	11,21	1,91	0,88	8,42	69,82%	24,42%	17,05%
	Média	0,0E+00	0,0	276,319	20	1,436	6	67,652	188,426	0,98	11,80	11,52	1,88	0,91	8,73	68,23%	23,99%	16,37%
		1,0E+05	4,2		19	1,437	6	67,794	188,781	0,93	11,80	11,01	1,89	0,91	8,22	68,37%	25,12%	17,15%
		2,0E+05	8,3		20	1,435	6	68,002	189,560	0,93	11,80	10,93	1,90	0,90	8,14	68,65%	25,32%	17,35%
		5,0E+05	20,8		20	1,436	6	68,156	189,932	0,92	11,80	10,84	1,90	0,90	8,04	68,78%	25,55%	17,54%
		7,5E+05	31,3		20	1,435	6	68,280	190,365	0,92	11,80	10,84	1,90	0,90	8,04	68,94%	25,54%	17,58%
		1,0E+06	41,7		19	1,435	6	68,286	190,325	0,92	11,80	10,80	1,90	0,90	8,00	68,93%	25,62%	17,64%
Média			19		1,436	6	68,028	189,565	0,93	11,80	10,99	1,90	0,90	8,20	68,65%	25,19%	17,27%	

Rotor	Bomba			Fluido		Pressão de saída ajustada para 6 bar												
	n°	Usos (rev)	Usos (h)	Q nom (ml/min)	Temp. (°C)	ρ (g/ml)	P (bar)	Massa (g)	Q real (ml/min)	DCA (A)	DCV (V)	P total (Watt)	P vol (Watt)	P lift (Watt)	P mec (Watt)	η vol	η mec	η total
Alumínio Liga 6082	19	0,0E+00	0,0	283,459	19	1,438	6	78,698	218,940	0,89	11,80	10,50	2,19	0,60	7,71	77,24%	26,99%	20,85%
		1,0E+05	4,2		19	1,432	6	77,794	217,290	0,88	11,80	10,38	2,17	0,62	7,59	76,66%	27,30%	20,93%
		2,0E+05	8,3		19	1,440	6	77,934	216,556	0,88	11,80	10,38	2,17	0,63	7,59	76,40%	27,30%	20,85%
		5,0E+05	20,8		19	1,423	6	77,556	218,056	0,90	11,80	10,62	2,18	0,61	7,83	76,93%	26,69%	20,53%
		7,5E+05	31,3		19	1,438	6	78,706	218,950	0,91	11,80	10,74	2,19	0,60	7,94	77,24%	26,40%	20,39%
		1,0E+06	41,7		19	1,424	6	77,020	216,421	0,89	11,80	10,50	2,16	0,63	7,71	76,35%	26,99%	20,61%
	20	0,0E+00	0,0	282,132	19	1,424	6	82,871	232,829	0,98	11,80	11,56	2,33	0,47	8,77	82,52%	24,40%	20,13%
		1,0E+05	4,2		19	1,437	6	83,392	232,070	0,99	11,80	11,68	2,32	0,47	8,89	82,26%	24,15%	19,87%
		2,0E+05	8,3		19	1,404	6	78,877	224,714	0,98	11,80	11,56	2,25	0,55	8,77	79,65%	24,40%	19,43%
		5,0E+05	20,8		19	1,432	6	81,374	227,308	0,98	11,80	11,56	2,27	0,52	8,77	80,57%	24,40%	19,66%
		7,5E+05	31,3		19	1,439	6	82,170	228,459	1,00	11,80	11,80	2,28	0,51	9,01	80,98%	23,91%	19,36%
		1,0E+06	41,7		19	1,436	6	81,790	227,770	0,99	11,80	11,68	2,28	0,52	8,89	80,73%	24,15%	19,50%
	21	0,0E+00	0,0	278,612	19	1,441	6	76,209	211,510	0,92	11,80	10,86	2,12	0,68	8,06	75,92%	25,66%	19,48%
		1,0E+05	4,2		19	1,437	6	76,745	213,691	0,86	11,80	10,15	2,14	0,66	7,35	76,70%	27,45%	21,06%
		2,0E+05	8,3		19	1,435	6	76,656	213,693	0,86	11,80	10,15	2,14	0,66	7,35	76,70%	27,45%	21,06%
		5,0E+05	20,8		19	1,440	6	77,037	213,950	0,88	11,80	10,38	2,14	0,65	7,59	76,79%	26,83%	20,60%
		7,5E+05	31,3		19	1,437	6	74,837	208,326	0,87	11,80	10,27	2,08	0,71	7,47	74,77%	27,14%	20,29%
		1,0E+06	41,7		19	1,435	6	74,657	208,089	0,88	11,80	10,38	2,08	0,71	7,59	74,69%	26,83%	20,04%
	22	0,0E+00	0,0	283,394	20	1,438	6	78,604	218,648	0,88	11,80	10,38	2,19	0,61	7,59	77,15%	27,29%	21,06%
		1,0E+05	4,2		19	1,440	6	78,663	218,508	0,88	11,80	10,38	2,19	0,61	7,59	77,10%	27,29%	21,04%
		2,0E+05	8,3		20	1,437	6	78,699	219,065	0,88	11,80	10,38	2,19	0,60	7,59	77,30%	27,29%	21,10%
		5,0E+05	20,8		19	1,439	6	78,757	218,906	0,88	11,80	10,38	2,19	0,60	7,59	77,24%	27,29%	21,08%
		7,5E+05	31,3		19	1,440	6	79,993	222,172	0,88	11,80	10,38	2,22	0,57	7,59	78,40%	27,29%	21,40%
		1,0E+06	41,7		19	1,441	6	78,717	218,507	0,89	11,80	10,50	2,19	0,61	7,71	77,10%	26,98%	20,81%
23	0,0E+00	0,0	278,561	20	1,430	6	75,025	209,860	0,91	11,80	10,74	2,10	0,70	7,94	75,34%	25,94%	19,54%	
	1,0E+05	4,2		19	1,431	6	75,404	210,743	0,87	11,80	10,27	2,11	0,69	7,47	75,65%	27,13%	20,53%	
	2,0E+05	8,3		19	1,435	6	75,393	210,155	0,87	11,80	10,27	2,10	0,69	7,47	75,44%	27,13%	20,47%	
	5,0E+05	20,8		19	1,431	6	75,538	211,147	0,87	11,80	10,27	2,11	0,68	7,47	75,80%	27,13%	20,57%	
	7,5E+05	31,3		19	1,433	6	75,744	211,384	0,87	11,80	10,27	2,11	0,68	7,47	75,88%	27,13%	20,59%	
	1,0E+06	41,7		20	1,434	6	76,099	212,271	0,86	11,80	10,15	2,12	0,67	7,35	76,20%	27,45%	20,92%	
24	0,0E+00	0,0	283,377	20	1,439	6	82,755	230,035	0,89	11,80	10,50	2,30	0,49	7,71	81,18%	26,98%	21,90%	
	1,0E+05	4,2		19	1,440	6	83,030	230,623	0,88	11,80	10,38	2,31	0,49	7,59	81,38%	27,29%	22,21%	
	2,0E+05	8,3		19	1,441	6	83,094	230,656	0,88	11,80	10,38	2,31	0,49	7,59	81,40%	27,29%	22,21%	
	5,0E+05	20,8		20	1,439	6	83,141	231,124	0,87	11,80	10,27	2,31	0,48	7,47	81,56%	27,60%	22,51%	
	7,5E+05	31,3		20	1,438	6	83,436	232,105	0,87	11,80	10,27	2,32	0,47	7,47	81,91%	27,60%	22,61%	
	1,0E+06	41,7		19	1,440	6	83,549	232,081	0,87	11,80	10,27	2,32	0,47	7,47	81,90%	27,60%	22,61%	
Média	0,0E+00	0,0	281,589	20	1,435	6	79,027	220,304	0,91	11,80	10,76	2,20	0,58	7,96	78,22%	26,21%	20,49%	
	1,0E+05	4,2		19	1,436	6	79,171	220,488	0,89	11,80	10,54	2,20	0,58	7,75	78,29%	26,77%	20,94%	
	2,0E+05	8,3		19	1,432	6	78,442	219,140	0,89	11,80	10,52	2,19	0,61	7,73	77,81%	26,81%	20,85%	
	5,0E+05	20,8		19	1,434	6	78,901	220,082	0,90	11,80	10,58	2,20	0,60	7,79	78,15%	26,66%	20,83%	
	7,5E+05	31,3		19	1,437	6	79,148	220,233	0,90	11,80	10,62	2,20	0,61	7,83	78,20%	26,58%	20,77%	
	1,0E+06	41,7		19	1,435	6	78,639	219,190	0,90	11,80	10,58	2,19	0,62	7,79	77,83%	26,67%	20,75%	
	Média			19	1,435	6	78,888	219,906	0,90	11,80	10,60	2,20	0,60	7,81	78,08%	26,62%	20,77%	

Rotor	Bomba			Fluido		Pressão de saída ajustada para 7 bar												
	n°	Usos (rev)	Usos (h)	Q nom (ml/min)	Temp. (°C)	ρ (g/ml)	P (bar)	Massa (g)	Q real (ml/min)	DCA (A)	DCV (V)	P total (Watt)	P vol (Watt)	P lift (Watt)	P mec (Watt)	η vol	η mec	η total
SAE 12L14 Cromado	1	0,0E+00	0,0	279,399	19	1,433	7	77,040	215,075	0,93	11,80	10,97	2,51	0,75	7,71	76,98%	29,70%	22,87%
		1,0E+05	4,2		19	1,435	7	77,900	217,082	0,90	11,80	10,62	2,53	0,73	7,36	77,70%	30,69%	23,85%
		2,0E+05	8,3		19	1,437	7	76,500	212,944	0,89	11,80	10,50	2,48	0,78	7,24	76,21%	31,04%	23,66%
		5,0E+05	20,8		20	1,432	7	76,473	213,642	0,90	11,80	10,62	2,49	0,77	7,36	76,46%	30,69%	23,47%
		7,5E+05	31,3		19	1,436	7	77,976	217,218	0,91	11,80	10,74	2,53	0,73	7,48	77,74%	30,36%	23,60%
		1,0E+06	41,7		20	1,420	7	75,845	213,588	0,92	11,80	10,86	2,49	0,77	7,60	76,45%	30,03%	22,95%
	2	0,0E+00	0,0	280,213	19	1,437	7	74,133	206,297	0,91	11,80	10,74	2,41	0,86	7,47	73,62%	30,44%	22,41%
		1,0E+05	4,2		20	1,429	7	73,393	205,445	0,91	11,80	10,74	2,40	0,87	7,47	73,32%	30,44%	22,32%
		2,0E+05	8,3		19	1,432	7	72,910	203,659	0,90	11,80	10,62	2,38	0,89	7,35	72,68%	30,78%	22,37%
		5,0E+05	20,8		19	1,434	7	73,479	204,951	0,91	11,80	10,74	2,39	0,88	7,47	73,14%	30,44%	22,27%
		7,5E+05	31,3		20	1,433	7	72,887	203,407	0,90	11,80	10,62	2,37	0,90	7,35	72,59%	30,78%	22,35%
		1,0E+06	41,7		19	1,433	7	71,631	199,891	0,90	11,80	10,62	2,33	0,94	7,35	71,34%	30,78%	21,96%
	3	0,0E+00	0,0	272,860	19	1,435	7	77,765	216,761	0,93	11,80	10,97	2,53	0,65	7,79	79,44%	29,01%	23,04%
		1,0E+05	4,2		20	1,439	7	77,148	214,425	0,93	11,80	10,97	2,50	0,68	7,79	78,58%	29,01%	22,80%
		2,0E+05	8,3		19	1,438	7	78,136	217,292	0,92	11,80	10,86	2,54	0,65	7,67	79,63%	29,32%	23,35%
		5,0E+05	20,8		20	1,444	7	77,698	215,212	0,92	11,80	10,86	2,51	0,67	7,67	78,87%	29,32%	23,13%
		7,5E+05	31,3		20	1,441	7	76,827	213,284	0,92	11,80	10,86	2,49	0,70	7,67	78,17%	29,32%	22,92%
		1,0E+06	41,7		19	1,417	7	74,897	211,400	0,92	11,80	10,86	2,47	0,72	7,67	77,48%	29,32%	22,72%
	4	0,0E+00	0,0	291,465	19	1,437	7	79,893	222,388	0,92	11,80	10,86	2,59	0,81	7,46	76,30%	31,32%	23,90%
		1,0E+05	4,2		20	1,428	7	79,115	221,611	0,92	11,80	10,86	2,59	0,81	7,46	76,03%	31,32%	23,82%
		2,0E+05	8,3		20	1,434	7	79,902	222,879	0,91	11,80	10,74	2,60	0,80	7,34	76,47%	31,67%	24,22%
		5,0E+05	20,8		19	1,433	7	79,449	221,770	0,91	11,80	10,74	2,59	0,81	7,34	76,09%	31,67%	24,09%
		7,5E+05	31,3		20	1,433	7	79,187	220,989	0,91	11,80	10,74	2,58	0,82	7,34	75,82%	31,67%	24,01%
		1,0E+06	41,7		19	1,436	7	78,983	220,008	0,92	11,80	10,86	2,57	0,83	7,46	75,48%	31,32%	23,64%
	5	0,0E+00	0,0	279,974	19	1,429	7	76,016	212,781	0,91	11,80	10,74	2,48	0,78	7,47	76,00%	30,42%	23,12%
		1,0E+05	4,2		19	1,425	7	75,983	213,286	0,90	11,80	10,62	2,49	0,78	7,35	76,18%	30,76%	23,43%
		2,0E+05	8,3		20	1,431	7	75,906	212,176	0,90	11,80	10,62	2,48	0,79	7,35	75,78%	30,76%	23,31%
		5,0E+05	20,8		19	1,433	7	75,898	211,858	0,90	11,80	10,62	2,47	0,79	7,35	75,67%	30,76%	23,27%
7,5E+05		31,3	20		1,433	7	75,839	211,663	0,90	11,80	10,62	2,47	0,80	7,35	75,60%	30,76%	23,25%	
1,0E+06		41,7	20		1,428	7	75,147	210,496	0,90	11,80	10,62	2,46	0,81	7,35	75,18%	30,76%	23,12%	
6	0,0E+00	0,0	272,753	19	1,435	7	78,202	217,979	0,93	11,80	10,97	2,54	0,64	7,79	79,92%	29,00%	23,17%	
	1,0E+05	4,2		19	1,439	7	78,019	216,846	0,93	11,80	10,97	2,53	0,65	7,79	79,50%	29,00%	23,05%	
	2,0E+05	8,3		20	1,438	7	78,030	216,997	0,92	11,80	10,86	2,53	0,65	7,67	79,56%	29,31%	23,32%	
	5,0E+05	20,8		20	1,444	7	77,922	215,832	0,93	11,80	10,97	2,52	0,66	7,79	79,13%	29,00%	22,95%	
	7,5E+05	31,3		20	1,441	7	77,717	215,755	0,93	11,80	10,97	2,52	0,66	7,79	79,10%	29,00%	22,94%	
	1,0E+06	41,7		20	1,417	7	77,351	218,327	0,93	11,80	10,97	2,55	0,63	7,79	80,05%	29,00%	23,21%	
Média	0,0E+00	0,0	279,444	19	1,434	7	77,175	215,214	0,92	11,80	10,88	2,51	0,76	7,62	77,04%	29,98%	23,09%	
	1,0E+05	4,2		20	1,433	7	76,926	214,782	0,92	11,80	10,80	2,51	0,76	7,54	76,89%	30,20%	23,21%	
	2,0E+05	8,3		20	1,435	7	76,897	214,324	0,91	11,80	10,70	2,50	0,77	7,44	76,72%	30,48%	23,37%	
	5,0E+05	20,8		20	1,437	7	76,820	213,877	0,91	11,80	10,76	2,50	0,77	7,50	76,56%	30,31%	23,20%	
	7,5E+05	31,3		20	1,436	7	76,739	213,720	0,91	11,80	10,76	2,49	0,77	7,50	76,50%	30,31%	23,18%	
	1,0E+06	41,7		20	1,425	7	75,642	212,285	0,92	11,80	10,80	2,48	0,81	7,54	75,99%	30,20%	22,94%	
Média				19	1,433	7	76,700	214,034	0,91	11,80	10,78	2,50	0,77	7,52	76,62%	30,25%	23,16%	

Rotor	Bomba			Fluido		Pressão de saída ajustada para 7 bar												
	n°	Uso (rev)	Uso (h)	Q nom (ml/min)	Temp. (°C)	ρ (g/ml)	P (bar)	Massa (g)	Q real (ml/min)	DCA (A)	DCV (V)	P total (Watt)	P vol (Watt)	P lift (Watt)	P mec (Watt)	η vol	η mec	η total
Poliâmida 6	7	0,0E+00	0,0	286,345	20	1,435	7	50,344	140,316	0,95	11,80	11,21	1,64	1,62	7,95	49,00%	29,80%	14,60%
		1,0E+05	4,2		20	1,442	7	50,420	139,826	0,90	11,80	10,62	1,63	1,63	7,36	48,83%	31,46%	15,36%
		2,0E+05	8,3		19	1,445	7	51,022	141,206	0,90	11,80	10,62	1,65	1,61	7,36	49,31%	31,46%	15,51%
		5,0E+05	20,8		19	1,445	7	51,279	141,925	0,89	11,80	10,50	1,66	1,60	7,24	49,56%	31,81%	15,77%
		7,5E+05	31,3		19	1,445	7	51,545	142,669	0,89	11,80	10,50	1,66	1,60	7,24	49,82%	31,81%	15,85%
		1,0E+06	41,7		19	1,445	7	51,359	142,151	0,88	11,80	10,38	1,66	1,60	7,12	49,64%	32,17%	15,97%
	8	0,0E+00	0,0	278,418	19	1,440	7	68,928	191,419	0,87	11,80	10,27	2,23	1,03	7,01	68,75%	31,64%	21,75%
		1,0E+05	4,2		20	1,439	7	68,115	189,308	0,87	11,80	10,27	2,21	1,05	7,01	67,99%	31,64%	21,51%
		2,0E+05	8,3		19	1,440	7	68,796	191,121	0,87	11,80	10,27	2,23	1,03	7,01	68,65%	31,64%	21,72%
		5,0E+05	20,8		19	1,441	7	68,609	190,406	0,86	11,80	10,15	2,22	1,04	6,89	68,39%	32,01%	21,89%
		7,5E+05	31,3		19	1,442	7	68,703	190,614	0,86	11,80	10,15	2,22	1,04	6,89	68,46%	32,01%	21,91%
		1,0E+06	41,7		19	1,444	7	68,665	190,224	0,85	11,80	10,03	2,22	1,04	6,77	68,32%	32,38%	22,13%
	9	0,0E+00	0,0	283,958	19	1,423	7	67,219	188,961	0,88	11,80	10,38	2,20	1,06	7,12	66,55%	31,90%	21,23%
		1,0E+05	4,2		19	1,445	7	68,813	190,523	0,88	11,80	10,38	2,22	1,04	7,12	67,10%	31,90%	21,41%
		2,0E+05	8,3		19	1,435	7	68,070	189,679	0,89	11,80	10,50	2,21	1,05	7,24	66,80%	31,54%	21,07%
		5,0E+05	20,8		19	1,434	7	68,277	190,473	0,87	11,80	10,27	2,22	1,04	7,01	67,08%	32,27%	21,65%
		7,5E+05	31,3		19	1,440	7	67,900	188,585	0,90	11,80	10,62	2,20	1,06	7,36	66,41%	31,19%	20,72%
		1,0E+06	41,7		19	1,411	7	65,288	185,088	0,98	11,80	11,56	2,16	1,10	8,30	65,18%	28,65%	18,67%
	10	0,0E+00	0,0	285,014	20	1,423	7	64,101	180,196	0,91	11,80	10,74	2,10	1,16	7,48	63,22%	30,97%	19,58%
		1,0E+05	4,2		19	1,445	7	64,090	177,446	0,91	11,80	10,74	2,07	1,19	7,48	62,26%	30,97%	19,28%
		2,0E+05	8,3		20	1,435	7	64,098	178,611	0,90	11,80	10,62	2,08	1,18	7,36	62,67%	31,31%	19,62%
		5,0E+05	20,8		19	1,434	7	64,422	179,719	0,90	11,80	10,62	2,10	1,16	7,36	63,06%	31,31%	19,74%
		7,5E+05	31,3		19	1,440	7	64,717	179,744	0,90	11,80	10,62	2,10	1,16	7,36	63,07%	31,31%	19,75%
		1,0E+06	41,7		19	1,411	7	64,838	183,812	0,90	11,80	10,62	2,14	1,12	7,36	64,49%	31,31%	20,19%
11	0,0E+00	0,0	277,430	19	1,421	7	68,427	192,616	0,91	11,80	10,74	2,25	1,01	7,48	69,43%	30,14%	20,93%	
	1,0E+05	4,2		19	1,427	7	68,617	192,339	0,90	11,80	10,62	2,24	1,02	7,36	69,33%	30,48%	21,13%	
	2,0E+05	8,3		20	1,430	7	68,851	192,590	0,91	11,80	10,74	2,25	1,01	7,48	69,42%	30,14%	20,92%	
	5,0E+05	20,8		20	1,425	7	69,008	193,707	0,91	11,80	10,74	2,26	1,00	7,48	69,82%	30,14%	21,05%	
	7,5E+05	31,3		20	1,431	7	69,326	193,783	0,91	11,80	10,74	2,26	1,00	7,48	69,85%	30,14%	21,05%	
	1,0E+06	41,7		20	1,429	7	69,636	194,909	0,91	11,80	10,74	2,27	0,99	7,48	70,25%	30,14%	21,18%	
12	0,0E+00	0,0	287,088	20	1,438	7	59,501	165,510	0,97	11,80	11,45	1,93	1,33	8,19	57,65%	29,26%	16,87%	
	1,0E+05	4,2		19	1,440	7	59,192	164,422	0,95	11,80	11,21	1,92	1,34	7,95	57,27%	29,88%	17,11%	
	2,0E+05	8,3		19	1,441	7	58,995	163,761	0,93	11,80	10,97	1,91	1,35	7,71	57,04%	30,52%	17,41%	
	5,0E+05	20,8		20	1,439	7	59,925	166,574	0,93	11,80	10,97	1,94	1,32	7,71	58,02%	30,52%	17,71%	
	7,5E+05	31,3		20	1,438	7	60,196	167,444	0,92	11,80	10,86	1,95	1,31	7,60	58,32%	30,85%	17,99%	
	1,0E+06	41,7		19	1,440	7	60,390	167,750	0,92	11,80	10,86	1,96	1,30	7,60	58,43%	30,85%	18,03%	
Média	0,0E+00	0,0	283,042	20	1,430	7	63,087	176,503	0,92	11,80	10,80	2,06	1,23	7,54	62,43%	30,62%	19,16%	
	1,0E+05	4,2		19	1,440	7	63,208	175,644	0,90	11,80	10,64	2,05	1,24	7,38	62,13%	31,05%	19,30%	
	2,0E+05	8,3		19	1,438	7	63,305	176,161	0,90	11,80	10,62	2,06	1,23	7,36	62,31%	31,10%	19,38%	
	5,0E+05	20,8		19	1,436	7	63,587	177,134	0,89	11,80	10,54	2,07	1,23	7,28	62,66%	31,34%	19,63%	
	7,5E+05	31,3		19	1,439	7	63,731	177,140	0,90	11,80	10,58	2,07	1,23	7,32	62,66%	31,22%	19,55%	
	1,0E+06	41,7		19	1,430	7	63,363	177,322	0,91	11,80	10,70	2,07	1,25	7,44	62,72%	30,92%	19,36%	
	Média			19	1,436	7	63,380	176,651	0,90	11,80	10,65	2,06	1,23	7,39	62,49%	31,04%	19,40%	

Rotor	Bomba			Fluido		Pressão de saída ajustada para 7 bar												
	n°	Usos (rev)	Usos (h)	Q nom (ml/min)	Temp. (°C)	ρ (g/ml)	P (bar)	Massa (g)	Q real (ml/min)	DCA (A)	DCV (V)	P total (Watt)	P vol (Watt)	P lift (Watt)	P mec (Watt)	η vol	η mec	η total
PEEK	13	0,0E+00	0,0	285,957	19	1,437	7	65,249	181,656	1,05	11,80	12,39	2,12	1,14	9,13	63,53%	26,93%	17,11%
		1,0E+05	4,2		19	1,444	7	64,834	179,635	0,91	11,80	10,74	2,10	1,16	7,48	62,82%	31,07%	19,52%
		2,0E+05	8,3		19	1,442	7	64,990	180,337	0,88	11,80	10,38	2,10	1,16	7,12	63,06%	32,13%	20,26%
		5,0E+05	20,8		19	1,445	7	65,389	181,048	0,88	11,80	10,38	2,11	1,15	7,12	63,31%	32,13%	20,34%
		7,5E+05	31,3		19	1,440	7	65,346	181,502	0,89	11,80	10,50	2,12	1,14	7,24	63,47%	31,77%	20,16%
		1,0E+06	41,7		19	1,445	7	64,961	179,803	0,91	11,80	10,74	2,10	1,16	7,48	62,88%	31,07%	19,54%
	14	0,0E+00	0,0	272,443	20	1,436	7	68,428	190,607	0,96	11,80	11,33	2,22	1,04	8,07	69,96%	28,06%	19,63%
		1,0E+05	4,2		19	1,428	7	68,550	192,017	0,92	11,80	10,86	2,24	1,02	7,60	70,48%	29,28%	20,64%
		2,0E+05	8,3		19	1,434	7	68,611	191,384	0,92	11,80	10,86	2,23	1,03	7,60	70,25%	29,28%	20,57%
		5,0E+05	20,8		19	1,431	7	68,905	192,607	0,92	11,80	10,86	2,25	1,01	7,60	70,70%	29,28%	20,70%
		7,5E+05	31,3		20	1,429	7	68,992	193,120	0,92	11,80	10,86	2,25	1,01	7,60	70,88%	29,28%	20,75%
		1,0E+06	41,7		19	1,427	7	69,078	193,631	0,92	11,80	10,86	2,26	1,00	7,60	71,07%	29,28%	20,81%
	15	0,0E+00	0,0	271,370	19	1,440	7	67,638	187,909	0,98	11,80	11,56	2,19	1,07	8,30	69,24%	27,38%	18,96%
		1,0E+05	4,2		19	1,440	7	68,002	188,934	0,93	11,80	10,97	2,20	1,06	7,71	69,62%	28,85%	20,09%
		2,0E+05	8,3		20	1,437	7	68,357	190,277	0,93	11,80	10,97	2,22	1,04	7,71	70,12%	28,85%	20,23%
		5,0E+05	20,8		20	1,437	7	68,183	189,740	0,92	11,80	10,86	2,21	1,05	7,60	69,92%	29,16%	20,39%
		7,5E+05	31,3		20	1,433	7	68,354	190,813	0,91	11,80	10,74	2,23	1,03	7,48	70,31%	29,48%	20,73%
		1,0E+06	41,7		20	1,435	7	67,960	189,436	0,90	11,80	10,62	2,21	1,05	7,36	69,81%	29,81%	20,81%
	16	0,0E+00	0,0	274,774	20	1,429	7	68,680	192,287	0,99	11,80	11,68	2,24	1,02	8,42	69,98%	27,44%	19,20%
		1,0E+05	4,2		19	1,429	7	68,994	193,125	0,99	11,80	11,68	2,25	1,01	8,42	70,29%	27,44%	19,29%
		2,0E+05	8,3		20	1,419	7	69,113	194,822	0,99	11,80	11,68	2,27	0,99	8,42	70,90%	27,44%	19,46%
		5,0E+05	20,8		20	1,424	7	69,194	194,365	0,98	11,80	11,56	2,27	0,99	8,30	70,74%	27,72%	19,61%
		7,5E+05	31,3		20	1,428	7	69,360	194,286	0,98	11,80	11,56	2,27	0,99	8,30	70,71%	27,72%	19,60%
		1,0E+06	41,7		19	1,423	7	69,653	195,792	0,96	11,80	11,33	2,28	0,98	8,07	71,26%	28,30%	20,16%
	17	0,0E+00	0,0	279,646	19	1,442	7	65,746	182,374	0,97	11,80	11,45	2,13	1,13	8,19	65,22%	28,50%	18,59%
		1,0E+05	4,2		19	1,443	7	65,973	182,865	0,93	11,80	10,97	2,13	1,13	7,71	65,39%	29,73%	19,44%
		2,0E+05	8,3		20	1,440	7	65,985	183,292	0,93	11,80	10,97	2,14	1,12	7,71	65,54%	29,73%	19,49%
		5,0E+05	20,8		19	1,442	7	66,206	183,625	0,91	11,80	10,74	2,14	1,12	7,48	65,66%	30,38%	19,95%
		7,5E+05	31,3		20	1,441	7	66,448	184,450	0,91	11,80	10,74	2,15	1,11	7,48	65,96%	30,38%	20,04%
		1,0E+06	41,7		19	1,443	7	66,721	184,951	0,91	11,80	10,74	2,16	1,10	7,48	66,14%	30,38%	20,09%
	18	0,0E+00	0,0	273,723	20	1,434	7	67,428	188,084	0,98	11,80	11,56	2,19	1,07	8,30	68,71%	27,62%	18,98%
		1,0E+05	4,2		19	1,436	7	67,603	188,309	0,98	11,80	11,56	2,20	1,06	8,30	68,80%	27,62%	19,00%
		2,0E+05	8,3		19	1,439	7	67,822	188,525	0,98	11,80	11,56	2,20	1,06	8,30	68,87%	27,62%	19,02%
		5,0E+05	20,8		20	1,434	7	68,016	189,724	0,97	11,80	11,45	2,21	1,05	8,19	69,31%	27,90%	19,34%
		7,5E+05	31,3		19	1,438	7	68,113	189,466	0,97	11,80	11,45	2,21	1,05	8,19	69,22%	27,90%	19,31%
		1,0E+06	41,7		19	1,439	7	68,335	189,951	0,96	11,80	11,33	2,22	1,04	8,07	69,40%	28,19%	19,56%
	Média	0,0E+00	0,0	276,319	20	1,436	7	67,195	187,153	0,99	11,80	11,66	2,18	1,08	8,40	67,77%	27,65%	18,74%
		1,0E+05	4,2		19	1,437	7	67,326	187,481	0,94	11,80	11,13	2,19	1,08	7,87	67,90%	29,00%	19,66%
		2,0E+05	8,3		20	1,435	7	67,480	188,106	0,94	11,80	11,07	2,19	1,07	7,81	68,12%	29,17%	19,84%
		5,0E+05	20,8		20	1,436	7	67,649	188,518	0,93	11,80	10,97	2,20	1,07	7,71	68,27%	29,43%	20,05%
		7,5E+05	31,3		20	1,435	7	67,769	188,939	0,93	11,80	10,97	2,20	1,06	7,71	68,43%	29,42%	20,10%
		1,0E+06	41,7		19	1,435	7	67,785	188,927	0,93	11,80	10,93	2,20	1,07	7,68	68,42%	29,51%	20,16%
		Média			19	1,436	7	67,534	188,187	0,94	11,80	11,12	2,20	1,07	7,87	68,15%	29,03%	19,76%

Rotor	Bomba			Fluido		Pressão de saída ajustada para 7 bar												
	n°	Usos (rev)	Usos (h)	Q nom (ml/min)	Temp. (°C)	ρ (g/ml)	P (bar)	Massa (g)	Q real (ml/min)	DCA (A)	DCV (V)	P total (Watt)	P vol (Watt)	P lift (Watt)	P mec (Watt)	η vol	η mec	η total
Alumínio Liga 6082	19	0,0E+00	0,0	283,459	19	1,438	7	77,949	216,856	0,90	11,80	10,62	2,53	0,73	7,36	76,50%	31,14%	23,82%
		1,0E+05	4,2		19	1,432	7	77,298	215,904	0,89	11,80	10,50	2,52	0,74	7,24	76,17%	31,49%	23,98%
		2,0E+05	8,3		19	1,440	7	77,327	214,869	0,89	11,80	10,50	2,51	0,75	7,24	75,80%	31,49%	23,87%
		5,0E+05	20,8		19	1,423	7	76,532	215,177	0,91	11,80	10,74	2,51	0,75	7,48	75,91%	30,80%	23,38%
		7,5E+05	31,3		19	1,438	7	77,638	215,979	0,92	11,80	10,86	2,52	0,74	7,60	76,19%	30,46%	23,21%
		1,0E+06	41,7		19	1,424	7	76,222	214,179	0,90	11,80	10,62	2,50	0,76	7,36	75,56%	31,14%	23,53%
	20	0,0E+00	0,0	282,132	19	1,424	7	81,326	228,489	1,02	11,80	12,04	2,67	0,59	8,78	80,99%	27,35%	22,15%
		1,0E+05	4,2		19	1,437	7	82,014	228,235	1,01	11,80	11,92	2,66	0,60	8,66	80,90%	27,62%	22,34%
		2,0E+05	8,3		19	1,404	7	77,236	220,039	1,00	11,80	11,80	2,57	0,69	8,54	77,99%	27,89%	21,76%
		5,0E+05	20,8		19	1,432	7	79,872	223,112	1,00	11,80	11,80	2,60	0,66	8,54	79,08%	27,89%	22,06%
		7,5E+05	31,3		19	1,439	7	80,459	223,702	1,01	11,80	11,92	2,61	0,65	8,66	79,29%	27,62%	21,90%
		1,0E+06	41,7		19	1,436	7	79,928	222,585	1,00	11,80	11,80	2,60	0,66	8,54	78,89%	27,89%	22,01%
	21	0,0E+00	0,0	278,612	19	1,441	7	75,320	209,042	0,94	11,80	11,09	2,44	0,82	7,83	75,03%	29,30%	21,99%
		1,0E+05	4,2		19	1,437	7	75,999	211,614	0,87	11,80	10,27	2,47	0,79	7,01	75,95%	31,66%	24,05%
		2,0E+05	8,3		19	1,435	7	75,945	211,711	0,87	11,80	10,27	2,47	0,79	7,01	75,99%	31,66%	24,06%
		5,0E+05	20,8		19	1,440	7	76,120	211,403	0,89	11,80	10,50	2,47	0,79	7,24	75,88%	30,95%	23,48%
		7,5E+05	31,3		19	1,437	7	73,589	204,852	0,89	11,80	10,50	2,39	0,87	7,24	73,53%	30,95%	22,76%
		1,0E+06	41,7		19	1,435	7	73,333	204,398	0,89	11,80	10,50	2,38	0,88	7,24	73,36%	30,95%	22,71%
	22	0,0E+00	0,0	283,394	20	1,438	7	77,740	216,245	0,89	11,80	10,50	2,52	0,74	7,24	76,31%	31,48%	24,02%
		1,0E+05	4,2		19	1,440	7	77,802	216,117	0,89	11,80	10,50	2,52	0,74	7,24	76,26%	31,48%	24,01%
		2,0E+05	8,3		20	1,437	7	77,875	216,771	0,89	11,80	10,50	2,53	0,73	7,24	76,49%	31,48%	24,08%
		5,0E+05	20,8		19	1,439	7	77,900	216,524	0,89	11,80	10,50	2,53	0,73	7,24	76,40%	31,48%	24,05%
		7,5E+05	31,3		19	1,440	7	78,776	218,792	0,89	11,80	10,50	2,55	0,71	7,24	77,20%	31,48%	24,31%
		1,0E+06	41,7		19	1,441	7	78,108	216,816	0,90	11,80	10,62	2,53	0,73	7,36	76,51%	31,13%	23,82%
23	0,0E+00	0,0	278,561	20	1,430	7	74,273	207,757	0,92	11,80	10,86	2,42	0,84	7,60	74,58%	29,94%	22,33%	
	1,0E+05	4,2		19	1,431	7	74,574	208,424	0,88	11,80	10,38	2,43	0,83	7,12	74,82%	31,30%	23,42%	
	2,0E+05	8,3		19	1,435	7	74,661	208,114	0,88	11,80	10,38	2,43	0,83	7,12	74,71%	31,30%	23,38%	
	5,0E+05	20,8		19	1,431	7	74,805	209,099	0,88	11,80	10,38	2,44	0,82	7,12	75,06%	31,30%	23,49%	
	7,5E+05	31,3		19	1,433	7	75,111	209,617	0,87	11,80	10,27	2,45	0,81	7,01	75,25%	31,66%	23,82%	
	1,0E+06	41,7		20	1,434	7	75,260	209,930	0,87	11,80	10,27	2,45	0,81	7,01	75,36%	31,66%	23,86%	
24	0,0E+00	0,0	283,377	20	1,439	7	82,181	228,439	0,90	11,80	10,62	2,67	0,59	7,36	80,61%	31,13%	25,10%	
	1,0E+05	4,2		19	1,440	7	82,333	228,687	0,89	11,80	10,50	2,67	0,59	7,24	80,70%	31,48%	25,40%	
	2,0E+05	8,3		19	1,441	7	82,459	228,894	0,89	11,80	10,50	2,67	0,59	7,24	80,77%	31,48%	25,43%	
	5,0E+05	20,8		20	1,439	7	82,601	229,623	0,88	11,80	10,38	2,68	0,58	7,12	81,03%	31,84%	25,80%	
	7,5E+05	31,3		20	1,438	7	82,683	230,010	0,88	11,80	10,38	2,68	0,58	7,12	81,17%	31,84%	25,84%	
	1,0E+06	41,7		19	1,440	7	82,949	230,414	0,88	11,80	10,38	2,69	0,57	7,12	81,31%	31,84%	25,89%	
Média	0,0E+00	0,0	281,589	20	1,435	7	78,132	217,805	0,93	11,80	10,95	2,54	0,71	7,69	77,34%	30,06%	23,23%	
	1,0E+05	4,2		19	1,436	7	78,337	218,163	0,91	11,80	10,68	2,55	0,71	7,42	77,47%	30,84%	23,87%	
	2,0E+05	8,3		19	1,432	7	77,584	216,733	0,90	11,80	10,66	2,53	0,75	7,40	76,96%	30,88%	23,76%	
	5,0E+05	20,8		19	1,434	7	77,972	217,490	0,91	11,80	10,72	2,54	0,73	7,46	77,23%	30,71%	23,71%	
	7,5E+05	31,3		19	1,437	7	78,043	217,159	0,91	11,80	10,74	2,53	0,75	7,48	77,11%	30,67%	23,64%	
	1,0E+06	41,7		19	1,435	7	77,633	216,387	0,91	11,80	10,70	2,52	0,77	7,44	76,83%	30,77%	23,63%	
	Média			19	1,435	7	77,950	217,289	0,91	11,80	10,74	2,54	0,74	7,48	77,15%	30,65%	23,64%	

Rotor	Bomba			Fluido		Pressão de saída ajustada para 8 bar												
	n°	Usos (rev)	Usos (h)	Q nom (ml/min)	Temp. (°C)	ρ (g/ml)	P (bar)	Massa (g)	Q real (ml/min)	DCA (A)	DCV (V)	P total (Watt)	P vol (Watt)	P lift (Watt)	P mec (Watt)	η vol	η mec	η total
SAE 12L14 Cromado	1	0,0E+00	0,0	279,399	19	1,433	8	75,675	211,265	0,93	11,80	10,97	2,82	0,91	7,25	75,61%	33,95%	25,67%
		1,0E+05	4,2		19	1,435	8	76,315	212,665	0,92	11,80	10,86	2,84	0,89	7,13	76,12%	34,32%	26,12%
		2,0E+05	8,3		19	1,437	8	75,642	210,555	0,90	11,80	10,62	2,81	0,92	6,89	75,36%	35,08%	26,44%
		5,0E+05	20,8		20	1,432	8	74,507	208,149	0,91	11,80	10,74	2,78	0,95	7,01	74,50%	34,69%	25,85%
		7,5E+05	31,3		19	1,436	8	76,250	212,410	0,92	11,80	10,86	2,83	0,89	7,13	76,02%	34,32%	26,09%
		1,0E+06	41,7		20	1,420	8	73,630	207,350	0,93	11,80	10,97	2,76	0,96	7,25	74,21%	33,95%	25,19%
	2	0,0E+00	0,0	280,213	19	1,437	8	73,010	203,172	0,92	11,80	10,86	2,71	1,03	7,12	72,51%	34,42%	24,95%
		1,0E+05	4,2		20	1,429	8	71,924	201,332	0,92	11,80	10,86	2,68	1,05	7,12	71,85%	34,42%	24,73%
		2,0E+05	8,3		19	1,432	8	71,109	198,628	0,92	11,80	10,86	2,65	1,09	7,12	70,88%	34,42%	24,40%
		5,0E+05	20,8		19	1,434	8	71,827	200,343	0,92	11,80	10,86	2,67	1,06	7,12	71,50%	34,42%	24,61%
		7,5E+05	31,3		20	1,433	8	71,243	198,820	0,91	11,80	10,74	2,65	1,09	7,00	70,95%	34,79%	24,69%
		1,0E+06	41,7		19	1,433	8	70,484	196,690	0,91	11,80	10,74	2,62	1,11	7,00	70,19%	34,79%	24,42%
	3	0,0E+00	0,0	272,860	19	1,435	8	76,370	212,872	0,95	11,80	11,21	2,84	0,80	7,57	78,02%	32,45%	25,32%
		1,0E+05	4,2		20	1,439	8	75,889	210,926	0,94	11,80	11,09	2,81	0,83	7,45	77,30%	32,80%	25,35%
		2,0E+05	8,3		19	1,438	8	77,660	215,968	0,93	11,80	10,97	2,88	0,76	7,34	79,15%	33,15%	26,24%
		5,0E+05	20,8		20	1,444	8	76,463	211,791	0,93	11,80	10,97	2,82	0,81	7,34	77,62%	33,15%	25,73%
		7,5E+05	31,3		20	1,441	8	75,796	210,422	0,93	11,80	10,97	2,81	0,83	7,34	77,12%	33,15%	25,57%
		1,0E+06	41,7		19	1,417	8	73,596	207,728	0,94	11,80	11,09	2,77	0,87	7,45	76,13%	32,80%	24,97%
	4	0,0E+00	0,0	291,465	19	1,437	8	78,610	218,817	0,94	11,80	11,09	2,92	0,97	7,21	75,07%	35,04%	26,30%
		1,0E+05	4,2		20	1,428	8	78,201	219,050	0,93	11,80	10,97	2,92	0,97	7,09	75,15%	35,41%	26,61%
		2,0E+05	8,3		20	1,434	8	78,747	219,657	0,93	11,80	10,97	2,93	0,96	7,09	75,36%	35,41%	26,69%
		5,0E+05	20,8		19	1,433	8	78,459	219,006	0,93	11,80	10,97	2,92	0,97	7,09	75,14%	35,41%	26,61%
		7,5E+05	31,3		20	1,433	8	78,272	218,436	0,93	11,80	10,97	2,91	0,97	7,09	74,94%	35,41%	26,54%
		1,0E+06	41,7		19	1,436	8	77,863	216,889	0,93	11,80	10,97	2,89	0,99	7,09	74,41%	35,41%	26,35%
	5	0,0E+00	0,0	279,974	19	1,429	8	74,960	209,825	0,92	11,80	10,86	2,80	0,94	7,12	74,94%	34,39%	25,77%
		1,0E+05	4,2		19	1,425	8	74,844	210,088	0,91	11,80	10,74	2,80	0,93	7,01	75,04%	34,76%	26,09%
		2,0E+05	8,3		20	1,431	8	74,987	209,607	0,91	11,80	10,74	2,79	0,94	7,01	74,87%	34,76%	26,03%
		5,0E+05	20,8		19	1,433	8	74,772	208,715	0,91	11,80	10,74	2,78	0,95	7,01	74,55%	34,76%	25,92%
7,5E+05		31,3	20		1,433	8	74,729	208,565	0,91	11,80	10,74	2,78	0,95	7,01	74,49%	34,76%	25,90%	
1,0E+06		41,7	20		1,428	8	74,007	207,303	0,91	11,80	10,74	2,76	0,97	7,01	74,04%	34,76%	25,74%	
6	0,0E+00	0,0	272,753	19	1,435	8	77,095	214,893	0,94	11,80	11,09	2,87	0,77	7,46	78,79%	32,79%	25,83%	
	1,0E+05	4,2		19	1,439	8	77,002	214,019	0,93	11,80	10,97	2,85	0,78	7,34	78,47%	33,14%	26,00%	
	2,0E+05	8,3		20	1,438	8	76,903	213,863	0,92	11,80	10,86	2,85	0,79	7,22	78,41%	33,50%	26,27%	
	5,0E+05	20,8		20	1,444	8	76,792	212,703	0,93	11,80	10,97	2,84	0,80	7,34	77,98%	33,14%	25,84%	
	7,5E+05	31,3		20	1,441	8	76,707	212,951	0,93	11,80	10,97	2,84	0,80	7,34	78,07%	33,14%	25,87%	
	1,0E+06	41,7		20	1,417	8	76,244	215,202	0,93	11,80	10,97	2,87	0,77	7,34	78,90%	33,14%	26,15%	
Média	0,0E+00	0,0	279,444	19	1,434	8	75,953	211,807	0,93	11,80	11,01	2,82	0,91	7,29	75,82%	33,84%	25,64%	
	1,0E+05	4,2		20	1,433	8	75,696	211,347	0,93	11,80	10,92	2,82	0,92	7,19	75,65%	34,14%	25,82%	
	2,0E+05	8,3		20	1,435	8	75,841	211,380	0,92	11,80	10,84	2,82	0,92	7,11	75,67%	34,39%	26,01%	
	5,0E+05	20,8		20	1,437	8	75,470	210,118	0,92	11,80	10,88	2,80	0,94	7,15	75,21%	34,26%	25,76%	
	7,5E+05	31,3		20	1,436	8	75,500	210,267	0,92	11,80	10,88	2,80	0,94	7,15	75,27%	34,26%	25,78%	
	1,0E+06	41,7		20	1,425	8	74,304	208,527	0,93	11,80	10,92	2,78	0,98	7,19	74,65%	34,14%	25,47%	
	Média			19	1,433	8	75,461	210,574	0,92	11,80	10,91	2,81	0,94	7,18	75,38%	34,17%	25,75%	

Rotor	Bomba			Fluido		Pressão de saída ajustada para 8 bar												
	n°	Usos (rev)	Usos (h)	Q nom (ml/min)	Temp. (°C)	ρ (g/ml)	P (bar)	Massa (g)	Q real (ml/min)	DCA (A)	DCV (V)	P total (Watt)	P vol (Watt)	P lift (Watt)	P mec (Watt)	η vol	η mec	η total
Poliâmida 6	7	0,0E+00	0,0	286,345	20	1,435	8	49,918	139,129	0,96	11,80	11,33	1,86	1,87	7,60	48,59%	33,70%	16,38%
		1,0E+05	4,2		20	1,442	8	50,071	138,859	0,91	11,80	10,74	1,85	1,87	7,01	48,49%	35,56%	17,24%
		2,0E+05	8,3		19	1,445	8	50,704	140,326	0,90	11,80	10,62	1,87	1,85	6,89	49,01%	35,95%	17,62%
		5,0E+05	20,8		19	1,445	8	50,816	140,644	0,89	11,80	10,50	1,88	1,85	6,78	49,12%	36,35%	17,86%
		7,5E+05	31,3		19	1,445	8	51,077	141,374	0,89	11,80	10,50	1,88	1,84	6,78	49,37%	36,35%	17,95%
		1,0E+06	41,7		19	1,445	8	50,965	141,060	0,89	11,80	10,50	1,88	1,84	6,78	49,26%	36,35%	17,91%
	8	0,0E+00	0,0	278,418	19	1,440	8	67,383	187,128	0,88	11,80	10,38	2,50	1,23	6,66	67,21%	35,75%	24,03%
		1,0E+05	4,2		20	1,439	8	66,824	185,720	0,88	11,80	10,38	2,48	1,25	6,66	66,71%	35,75%	23,85%
		2,0E+05	8,3		19	1,440	8	67,505	187,535	0,88	11,80	10,38	2,50	1,22	6,66	67,36%	35,75%	24,08%
		5,0E+05	20,8		19	1,441	8	67,537	187,431	0,87	11,80	10,27	2,50	1,23	6,54	67,32%	36,16%	24,34%
		7,5E+05	31,3		19	1,442	8	67,536	187,376	0,87	11,80	10,27	2,50	1,23	6,54	67,30%	36,16%	24,34%
		1,0E+06	41,7		19	1,444	8	67,266	186,348	0,86	11,80	10,15	2,48	1,24	6,42	66,93%	36,58%	24,48%
	9	0,0E+00	0,0	283,958	19	1,423	8	66,464	186,838	0,89	11,80	10,50	2,49	1,23	6,78	65,80%	36,05%	23,72%
		1,0E+05	4,2		19	1,445	8	68,292	189,080	0,89	11,80	10,50	2,52	1,20	6,78	66,59%	36,05%	24,01%
		2,0E+05	8,3		19	1,435	8	67,390	187,784	0,90	11,80	10,62	2,50	1,22	6,89	66,13%	35,65%	23,58%
		5,0E+05	20,8		19	1,434	8	67,495	188,292	0,88	11,80	10,38	2,51	1,21	6,66	66,31%	36,46%	24,18%
		7,5E+05	31,3		19	1,440	8	67,175	186,571	0,91	11,80	10,74	2,49	1,24	7,01	65,70%	35,26%	23,17%
		1,0E+06	41,7		19	1,411	8	64,281	182,233	0,99	11,80	11,68	2,43	1,30	7,96	64,18%	32,41%	20,80%
	10	0,0E+00	0,0	285,014	20	1,423	8	63,010	177,129	0,92	11,80	10,86	2,36	1,36	7,13	62,15%	35,01%	21,75%
		1,0E+05	4,2		19	1,445	8	62,972	174,351	0,92	11,80	10,86	2,32	1,40	7,13	61,17%	35,01%	21,41%
		2,0E+05	8,3		20	1,435	8	63,080	175,774	0,91	11,80	10,74	2,34	1,38	7,01	61,67%	35,39%	21,83%
		5,0E+05	20,8		19	1,434	8	63,273	176,513	0,91	11,80	10,74	2,35	1,37	7,01	61,93%	35,39%	21,92%
		7,5E+05	31,3		19	1,440	8	63,666	176,825	0,91	11,80	10,74	2,36	1,37	7,01	62,04%	35,39%	21,96%
		1,0E+06	41,7		19	1,411	8	63,705	180,600	0,91	11,80	10,74	2,41	1,32	7,01	63,37%	35,39%	22,43%
11	0,0E+00	0,0	277,430	19	1,421	8	67,337	189,548	0,92	11,80	10,86	2,53	1,20	7,13	68,32%	34,07%	23,28%	
	1,0E+05	4,2		19	1,427	8	67,502	189,214	0,93	11,80	10,97	2,52	1,20	7,25	68,20%	33,71%	22,99%	
	2,0E+05	8,3		20	1,430	8	67,598	189,085	0,92	11,80	10,86	2,52	1,20	7,13	68,16%	34,07%	23,22%	
	5,0E+05	20,8		20	1,425	8	67,728	190,114	0,92	11,80	10,86	2,53	1,19	7,13	68,53%	34,07%	23,35%	
	7,5E+05	31,3		20	1,431	8	67,933	189,890	0,92	11,80	10,86	2,53	1,19	7,13	68,45%	34,07%	23,32%	
	1,0E+06	41,7		20	1,429	8	68,261	191,060	0,92	11,80	10,86	2,55	1,18	7,13	68,87%	34,07%	23,47%	
12	0,0E+00	0,0	287,088	20	1,438	8	58,638	163,110	0,98	11,80	11,56	2,17	1,55	7,84	56,82%	33,10%	18,81%	
	1,0E+05	4,2		19	1,440	8	58,300	161,944	0,96	11,80	11,33	2,16	1,57	7,60	56,41%	33,79%	19,06%	
	2,0E+05	8,3		19	1,441	8	58,051	161,141	0,94	11,80	11,09	2,15	1,58	7,37	56,13%	34,51%	19,37%	
	5,0E+05	20,8		20	1,439	8	59,159	164,445	0,94	11,80	11,09	2,19	1,53	7,37	57,28%	34,51%	19,77%	
	7,5E+05	31,3		20	1,438	8	59,277	164,887	0,93	11,80	10,97	2,20	1,53	7,25	57,43%	34,88%	20,03%	
	1,0E+06	41,7		19	1,440	8	59,449	165,136	0,92	11,80	10,86	2,20	1,52	7,13	57,52%	35,26%	20,28%	
Média	0,0E+00	0,0	283,042	20	1,430	8	62,125	173,814	0,93	11,80	10,92	2,32	1,44	7,19	61,48%	34,61%	21,33%	
	1,0E+05	4,2		19	1,440	8	62,327	173,195	0,92	11,80	10,80	2,31	1,44	7,07	61,26%	34,98%	21,43%	
	2,0E+05	8,3		19	1,438	8	62,388	173,607	0,91	11,80	10,72	2,31	1,43	6,99	61,41%	35,22%	21,62%	
	5,0E+05	20,8		19	1,436	8	62,668	174,573	0,90	11,80	10,64	2,33	1,43	6,91	61,75%	35,49%	21,90%	
	7,5E+05	31,3		19	1,439	8	62,777	174,487	0,91	11,80	10,68	2,33	1,44	6,95	61,72%	35,35%	21,79%	
	1,0E+06	41,7		19	1,430	8	62,321	174,406	0,92	11,80	10,80	2,33	1,46	7,07	61,69%	35,01%	21,56%	
Média			19	1,436	8	62,434	174,014	0,91	11,80	10,76	2,32	1,44	7,03	61,55%	35,11%	21,60%		

Rotor	Bomba			Fluido		Pressão de saída ajustada para 8 bar												
	n°	Uso (rev)	Uso (h)	Q nom (ml/min)	Temp. (°C)	ρ (g/ml)	P (bar)	Massa (g)	Q real (ml/min)	DCA (A)	DCV (V)	P total (Watt)	P vol (Watt)	P lift (Watt)	P mec (Watt)	η vol	η mec	η total
PEEK	13	0,0E+00	0,0	285,957	19	1,437	8	64,248	178,869	1,05	11,80	12,39	2,38	1,34	8,66	62,55%	30,77%	19,25%
		1,0E+05	4,2		19	1,444	8	63,971	177,244	0,92	11,80	10,86	2,36	1,36	7,13	61,98%	35,12%	21,77%
		2,0E+05	8,3		19	1,442	8	64,295	178,409	0,89	11,80	10,50	2,38	1,35	6,78	62,39%	36,31%	22,65%
		5,0E+05	20,8		19	1,445	8	64,345	178,157	0,88	11,80	10,38	2,38	1,35	6,66	62,30%	36,72%	22,88%
		7,5E+05	31,3		19	1,440	8	64,077	177,977	0,90	11,80	10,62	2,37	1,35	6,89	62,24%	35,90%	22,34%
		1,0E+06	41,7		19	1,445	8	64,053	177,290	0,92	11,80	10,86	2,36	1,36	7,13	62,00%	35,12%	21,77%
	14	0,0E+00	0,0	272,443	20	1,436	8	67,608	188,323	0,97	11,80	11,45	2,51	1,21	7,72	69,12%	31,74%	21,94%
		1,0E+05	4,2		19	1,428	8	67,753	189,784	0,93	11,80	10,97	2,53	1,19	7,25	69,66%	33,10%	23,06%
		2,0E+05	8,3		19	1,434	8	67,819	189,174	0,93	11,80	10,97	2,52	1,20	7,25	69,44%	33,10%	22,98%
		5,0E+05	20,8		19	1,431	8	67,995	190,063	0,93	11,80	10,97	2,53	1,19	7,25	69,76%	33,10%	23,09%
		7,5E+05	31,3		20	1,429	8	68,020	190,399	0,93	11,80	10,97	2,54	1,19	7,25	69,89%	33,10%	23,13%
		1,0E+06	41,7		19	1,427	8	68,109	190,915	0,93	11,80	10,97	2,55	1,18	7,25	70,08%	33,10%	23,20%
	15	0,0E+00	0,0	271,370	19	1,440	8	67,006	186,154	0,99	11,80	11,68	2,48	1,24	7,96	68,60%	30,97%	21,25%
		1,0E+05	4,2		19	1,440	8	67,278	186,922	0,94	11,80	11,09	2,49	1,23	7,37	68,88%	32,62%	22,47%
		2,0E+05	8,3		20	1,437	8	67,601	188,173	0,94	11,80	11,09	2,51	1,22	7,37	69,34%	32,62%	22,62%
		5,0E+05	20,8		20	1,437	8	67,755	188,549	0,93	11,80	10,97	2,51	1,21	7,25	69,48%	32,97%	22,91%
		7,5E+05	31,3		20	1,433	8	67,630	188,792	0,92	11,80	10,86	2,52	1,21	7,13	69,57%	33,33%	23,19%
		1,0E+06	41,7		20	1,435	8	67,225	187,387	0,91	11,80	10,74	2,50	1,23	7,01	69,05%	33,70%	23,27%
	16	0,0E+00	0,0	274,774	20	1,429	8	68,081	190,610	1,00	11,80	11,80	2,54	1,18	8,07	69,37%	31,05%	21,54%
		1,0E+05	4,2		19	1,429	8	68,177	190,838	1,00	11,80	11,80	2,54	1,18	8,07	69,45%	31,05%	21,56%
		2,0E+05	8,3		20	1,419	8	68,303	192,538	1,00	11,80	11,80	2,57	1,16	8,07	70,07%	31,05%	21,76%
		5,0E+05	20,8		20	1,424	8	68,569	192,610	0,99	11,80	11,68	2,57	1,16	7,96	70,10%	31,36%	21,98%
		7,5E+05	31,3		20	1,428	8	68,588	192,123	0,99	11,80	11,68	2,56	1,16	7,96	69,92%	31,36%	21,93%
		1,0E+06	41,7		19	1,423	8	68,716	193,158	0,98	11,80	11,56	2,58	1,15	7,84	70,30%	31,68%	22,27%
	17	0,0E+00	0,0	279,646	19	1,442	8	65,222	180,921	0,98	11,80	11,56	2,41	1,31	7,84	64,70%	32,24%	20,86%
		1,0E+05	4,2		19	1,443	8	65,369	181,190	0,94	11,80	11,09	2,42	1,31	7,37	64,79%	33,62%	21,78%
		2,0E+05	8,3		20	1,440	8	65,404	181,678	0,94	11,80	11,09	2,42	1,30	7,37	64,97%	33,62%	21,84%
		5,0E+05	20,8		19	1,442	8	65,700	182,222	0,92	11,80	10,86	2,43	1,30	7,13	65,16%	34,35%	22,38%
		7,5E+05	31,3		20	1,441	8	65,980	183,151	0,92	11,80	10,86	2,44	1,28	7,13	65,49%	34,35%	22,49%
		1,0E+06	41,7		19	1,443	8	66,144	183,351	0,92	11,80	10,86	2,44	1,28	7,13	65,57%	34,35%	22,52%
	18	0,0E+00	0,0	273,723	20	1,434	8	67,062	187,063	0,99	11,80	11,68	2,49	1,23	7,96	68,34%	31,24%	21,35%
		1,0E+05	4,2		19	1,436	8	67,220	187,242	0,99	11,80	11,68	2,50	1,23	7,96	68,41%	31,24%	21,37%
		2,0E+05	8,3		19	1,439	8	67,416	187,397	0,99	11,80	11,68	2,50	1,23	7,96	68,46%	31,24%	21,39%
		5,0E+05	20,8		20	1,434	8	67,555	188,438	0,98	11,80	11,56	2,51	1,21	7,84	68,84%	31,56%	21,73%
		7,5E+05	31,3		19	1,438	8	67,620	188,095	0,98	11,80	11,56	2,51	1,22	7,84	68,72%	31,56%	21,69%
		1,0E+06	41,7		19	1,439	8	68,003	189,028	0,97	11,80	11,45	2,52	1,20	7,72	69,06%	31,89%	22,02%
	Média	0,0E+00	0,0	276,319	20	1,436	8	66,538	185,323	1,00	11,80	11,76	2,47	1,27	8,04	67,11%	31,34%	21,03%
		1,0E+05	4,2		19	1,437	8	66,628	185,537	0,95	11,80	11,25	2,47	1,26	7,52	67,20%	32,79%	22,00%
		2,0E+05	8,3		20	1,435	8	66,806	186,228	0,95	11,80	11,19	2,48	1,26	7,47	67,44%	32,99%	22,21%
		5,0E+05	20,8		20	1,436	8	66,987	186,673	0,94	11,80	11,07	2,49	1,25	7,35	67,61%	33,34%	22,49%
		7,5E+05	31,3		20	1,435	8	66,986	186,756	0,94	11,80	11,09	2,49	1,25	7,37	67,64%	33,27%	22,46%
		1,0E+06	41,7		19	1,435	8	67,042	186,855	0,94	11,80	11,07	2,49	1,26	7,35	67,67%	33,31%	22,51%
		Média			19	1,436	8	66,831	186,229	0,95	11,80	11,24	2,48	1,26	7,51	67,45%	32,84%	22,12%

Rotor	Bomba			Fluido		Pressão de saída ajustada para 8 bar												
	n°	Usos (rev)	Usos (h)	Q nom (ml/min)	Temp. (°C)	ρ (g/ml)	P (bar)	Massa (g)	Q real (ml/min)	DCA (A)	DCV (V)	P total (Watt)	P vol (Watt)	P lift (Watt)	P mec (Watt)	η vol	η mec	η total
Alumínio Liga 6082	19	0,0E+00	0,0	283,459	19	1,438	8	76,904	213,949	0,91	11,80	10,74	2,85	0,87	7,01	75,48%	35,20%	26,57%
		1,0E+05	4,2		19	1,432	8	75,900	211,999	0,90	11,80	10,62	2,83	0,90	6,89	74,79%	35,59%	26,62%
		2,0E+05	8,3		19	1,440	8	76,424	212,360	0,90	11,80	10,62	2,83	0,89	6,89	74,92%	35,59%	26,66%
		5,0E+05	20,8		19	1,423	8	75,121	211,210	0,92	11,80	10,86	2,82	0,91	7,13	74,51%	34,81%	25,94%
		7,5E+05	31,3		19	1,438	8	76,230	212,062	0,94	11,80	11,09	2,83	0,90	7,37	74,81%	34,07%	25,49%
		1,0E+06	41,7		19	1,424	8	74,742	210,020	0,92	11,80	10,86	2,80	0,93	7,13	74,09%	34,81%	25,79%
	20	0,0E+00	0,0	282,132	19	1,424	8	79,060	222,122	1,02	11,80	12,04	2,96	0,76	8,31	78,73%	31,25%	24,61%
		1,0E+05	4,2		19	1,437	8	80,409	223,769	1,00	11,80	11,80	2,98	0,74	8,07	79,31%	31,88%	25,28%
		2,0E+05	8,3		19	1,404	8	75,760	215,834	1,01	11,80	11,92	2,88	0,85	8,19	76,50%	31,56%	24,15%
		5,0E+05	20,8		19	1,432	8	77,952	217,749	1,02	11,80	12,04	2,90	0,82	8,31	77,18%	31,25%	24,12%
		7,5E+05	31,3		19	1,439	8	78,721	218,870	1,02	11,80	12,04	2,92	0,81	8,31	77,58%	31,25%	24,25%
		1,0E+06	41,7		19	1,436	8	78,177	217,709	1,03	11,80	12,15	2,90	0,82	8,43	77,17%	30,95%	23,88%
	21	0,0E+00	0,0	278,612	19	1,441	8	74,470	206,683	0,96	11,80	11,33	2,76	0,97	7,60	74,18%	32,79%	24,33%
		1,0E+05	4,2		19	1,437	8	75,076	209,044	0,89	11,80	10,50	2,79	0,94	6,78	75,03%	35,37%	26,54%
		2,0E+05	8,3		19	1,435	8	74,980	209,021	0,89	11,80	10,50	2,79	0,94	6,78	75,02%	35,37%	26,54%
		5,0E+05	20,8		19	1,440	8	75,055	208,446	0,90	11,80	10,62	2,78	0,95	6,89	74,82%	34,98%	26,17%
		7,5E+05	31,3		19	1,437	8	72,171	200,905	0,90	11,80	10,62	2,68	1,05	6,89	72,11%	34,98%	25,22%
		1,0E+06	41,7		19	1,435	8	72,229	201,321	0,90	11,80	10,62	2,68	1,04	6,89	72,26%	34,98%	25,28%
	22	0,0E+00	0,0	283,394	20	1,438	8	76,851	213,772	0,90	11,80	10,62	2,85	0,88	6,89	75,43%	35,58%	26,84%
		1,0E+05	4,2		19	1,440	8	76,923	213,675	0,90	11,80	10,62	2,85	0,88	6,89	75,40%	35,58%	26,83%
		2,0E+05	8,3		20	1,437	8	76,995	214,322	0,90	11,80	10,62	2,86	0,87	6,89	75,63%	35,58%	26,91%
		5,0E+05	20,8		19	1,439	8	76,998	214,017	0,90	11,80	10,62	2,85	0,87	6,89	75,52%	35,58%	26,87%
		7,5E+05	31,3		19	1,440	8	77,604	215,537	0,91	11,80	10,74	2,87	0,85	7,01	76,06%	35,19%	26,76%
		1,0E+06	41,7		19	1,441	8	77,355	214,726	0,91	11,80	10,74	2,86	0,86	7,01	75,77%	35,19%	26,66%
	23	0,0E+00	0,0	278,561	20	1,430	8	73,252	204,901	0,93	11,80	10,97	2,73	0,99	7,25	73,56%	33,84%	24,90%
		1,0E+05	4,2		19	1,431	8	73,493	205,402	0,89	11,80	10,50	2,74	0,99	6,78	73,74%	35,37%	26,08%
		2,0E+05	8,3		19	1,435	8	73,640	205,268	0,89	11,80	10,50	2,74	0,99	6,78	73,69%	35,37%	26,06%
		5,0E+05	20,8		19	1,431	8	73,881	206,516	0,89	11,80	10,50	2,75	0,97	6,78	74,14%	35,37%	26,22%
		7,5E+05	31,3		19	1,433	8	74,947	209,159	0,88	11,80	10,38	2,79	0,94	6,66	75,09%	35,77%	26,86%
		1,0E+06	41,7		20	1,434	8	74,208	206,996	0,88	11,80	10,38	2,76	0,97	6,66	74,31%	35,77%	26,58%
	24	0,0E+00	0,0	283,377	20	1,439	8	81,540	226,657	0,91	11,80	10,74	3,02	0,70	7,01	79,98%	35,19%	28,14%
		1,0E+05	4,2		19	1,440	8	81,707	226,948	0,90	11,80	10,62	3,03	0,70	6,89	80,09%	35,58%	28,49%
		2,0E+05	8,3		19	1,441	8	81,823	227,128	0,90	11,80	10,62	3,03	0,70	6,89	80,15%	35,58%	28,52%
		5,0E+05	20,8		20	1,439	8	81,998	227,946	0,89	11,80	10,50	3,04	0,69	6,78	80,44%	35,98%	28,94%
		7,5E+05	31,3		20	1,438	8	82,220	228,722	0,89	11,80	10,50	3,05	0,68	6,78	80,71%	35,98%	29,04%
		1,0E+06	41,7		19	1,440	8	82,502	229,172	0,89	11,80	10,50	3,06	0,67	6,78	80,87%	35,98%	29,10%
	Média	0,0E+00	0,0	281,589	20	1,435	8	77,013	214,681	0,94	11,80	11,07	2,86	0,87	7,35	76,23%	33,98%	25,90%
		1,0E+05	4,2		19	1,436	8	77,251	215,140	0,91	11,80	10,78	2,87	0,86	7,05	76,39%	34,89%	26,64%
		2,0E+05	8,3		19	1,432	8	76,604	213,989	0,92	11,80	10,80	2,85	0,89	7,07	75,98%	34,84%	26,47%
		5,0E+05	20,8		19	1,434	8	76,834	214,314	0,92	11,80	10,86	2,86	0,89	7,13	76,10%	34,66%	26,38%
		7,5E+05	31,3		19	1,437	8	76,982	214,209	0,92	11,80	10,90	2,86	0,92	7,17	76,06%	34,54%	26,27%
		1,0E+06	41,7		19	1,435	8	76,536	213,324	0,92	11,80	10,88	2,84	0,93	7,15	75,74%	34,61%	26,22%
Média			19		1,435	8	76,870	214,276	0,92	11,80	10,88	2,86	0,89	7,15	76,08%	34,59%	26,31%	