

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

**ESTUDO DA OTIMIZAÇÃO DO
FERRAMENTAL PARA PERFILADOS DE
ALUMÍNIO, PARA DEFINIÇÃO DA PRENSA
IDEAL**

Diógenes Frank Irineu

**Pindamonhangaba - SP
2018**

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

**ESTUDO DA OTIMIZAÇÃO DO
FERRAMENTAL PARA PERFILADOS DE
ALUMÍNIO, PARA DEFINIÇÃO DA PRENSA
IDEAL**

Diógenes Frank Irineu

Monografia apresentada à Faculdade de
Tecnologia de Pindamonhangaba para
graduação, no Curso Superior de
Tecnologia em Processos Metalúrgicos.

Área de Concentração: Metalurgia

Orientador(a): Prof. Me. João Mauricio Godoy

**Pindamonhangaba - SP
2018**

Ir42e

Irineu, Diógenes Frank.

Estudo da otimização do ferramental para perfilados de alumínio, para definição da prensa ideal / Diógenes Frank Irineu / FATEC Pindamonhangaba, 2018.
38f.: il.

Orientador: Professor Mestre João Mauricio Godoy
Monografia (Graduação) – FATEC – Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. 2018

1. Ferramentas de extrusão. 2. Otimização. 3. Prensa ideal.
I. Irineu, Diógenes Frank. II. Godoy, João Mauricio. III. Título.

CDD 620

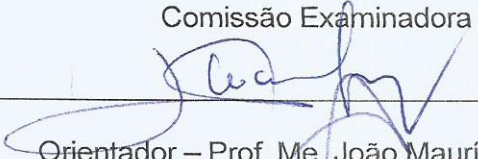
Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

**"ESTUDO DA OTIMIZAÇÃO DO FERRAMENTAL
PARA PERFILADOS DE ALUMÍNIO, PARA
DEFINIÇÃO DA PRENSA IDEAL"**

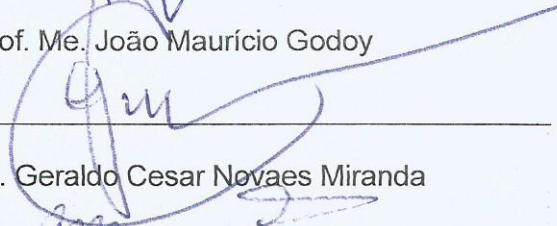
DIÓGENES FRANK IRINEU

Monografia apresentada à Faculdade de
Tecnologia de Pindamonhangaba, para
graduação no Curso Superior de
TECNOLOGIA EM PROCESSOS
METALÚRGICOS.

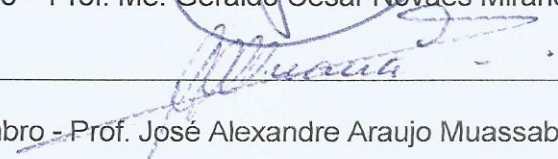
Comissão Examinadora



Orientador – Prof. Me. João Maurício Godoy



Membro – Prof. Me. Geraldo Cesar Novaes Miranda



Membro - Prof. José Alexandre Araujo Muassab

Pindamonhangaba, 13 de dezembro de 2018.

DEDICATÓRIA

A minha mãe, Sra. Suelina, que nunca desistiu de me incentivar, mesmo nos momentos de maior desânimo, diante de todas as dificuldades e desafios que a vida nos impõe, ela sempre acreditou.

AGRADECIMENTOS

Ao SENHOR Deus, que me ama e sempre cuidou de mim e de minha família. Mesmo que em algum momento parecesse tudo perdido, mas o Senhor me apoiou, e me deu força para concluir mais essa etapa da vida.

Ao Professor Godoy pela paciência e pelo apoio durante o processo de realização deste trabalho.

Ao Professor Alexandre Muassab, pela confiança depositada quando da realização do meu estágio no ramo da metalurgia, que rapidamente se tornou na minha profissão.

À direção da Fatec Pindamonhangaba e a todo o corpo acadêmico, pelo apoio prestado durante minha passagem por esta excelente instituição.

IRINEU, D, F, **Estudo da otimização do ferramental para perfilados de alumínio, para definição de prensa ideal**. 2018. 38p Trabalho de Graduação (Curso de Tecnologia em Processos Metalúrgicos). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2018.

RESUMO

A importância das técnicas e princípios do PCP (Planejamento e Controle da Produção) na administração da Produção, nos níveis estratégicos, táticos e operacionais é fundamental em uma fábrica de perfilados de alumínio. A combinação da quantidade de perfis de alumínio existentes, quanto sua forma, dimensões, grau de dificuldade de fabricação, massa linear, da quantidade de modelos de prensas existentes no mercado e instaladas nas empresas, e das inúmeras possibilidades de projetos de ferramental para um mesmo perfil, em diferentes prensas, nos apresenta uma oportunidade de melhoria contínua. Empresas que possuem dois ou mais tipos de prensas com ferramentas intercambiáveis entre si, pode-se determinar qual a prensa ideal para produção e qual a alternativa. Esse estudo visa exatamente essa definição, levando em consideração o tipo de perfil, a intercambialidade do ferramental, a produtividade, e o custo final de produção. No decorrer das análises constatou-se que em um cenário ideal, pode ser gerada uma economia de até 11% nos custos de fabricação com a otimização do ferramental, trazendo dessa forma, ganhos significativos para a empresa.

Palavras-chave: Ferramentas de extrusão, otimização, prensa ideal

IRINEU, D, F, **Study of extrusion dies optimization for aluminum profiles and ideal press definition.** 2018. 38p. Graduation Project (Metallurgical Process Course). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2018.

ABSTRACT

The importance of techniques and principles of PCP (Planning and Production Control) in the management production at strategic, tactical and operational levels is fundamental in an aluminum profiling factory. The combination of the number of existing aluminum profiles, as well as their shape, size, degree of manufacturing difficulty, linear weight, number of press models available in the market and installed in the companies, and the numerous possibilities of tooling projects for the same different presses, presents us with an opportunity for continuous improvement. Companies that have two or more types of presses with interchangeable tools can determine the ideal press for production and the alternative. This study aims precisely at this definition, taking into account the type of profile, the interchangeability of the tooling, the productivity, and the final cost of production. During the analysis, it was verified that in an ideal scenario, a cost savings of up to 11% in manufacturing costs could be generated with the optimization, thus bringing significant gains to the company.

Keywords: Extrusion dies, optimization, ideal press

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Alumínio de alta pureza	13
Figura 2 – Bauxita.....	15
Figura 3 – Diagrama processo Bayer.....	16
Figura 4 – Diagrama de uma célula de redução para alumínio primário.....	17
Figura 5 – Esquema prensa de extrusão indireta.....	21
Figura 6 – Esquema prensa extrusão direta.....	22
Figura 7 – Desenho representação perfil (a) sólido e (b) tubular.....	25
Figura 8 – Representação do conjunto ferramenta/acessórios para perfis sólidos	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades físicas típicas alumínio-aço-cobre.....	14
Tabela 2 – Classificação do alumínio e suas ligas.....	18
Tabela 3 – Extrudabilidade das ligas trabalháveis de alumínio.....	18
Tabela 4 – Aplicações típicas das ligas do grupo 6XXX.....	19
Tabela 5 – Influência dos elementos de liga.....	20
Tabela 6 – Capacidade da prensa e pressão específica.....	20
Tabela 7 – Representação do ciclo da extrusão.....	23
Tabela 8 – Parâmetros de Cálculo.....	27
Tabela 9 – Comparativo custo da produtividade SOL0157 – 7” e 9”.....	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REVISÃO BIBLIOGRAFICA	13
2.1	O ALUMÍNIO.....	13
2.1.1	CARACTERÍSTICAS DO ALUMINIO	13
2.1.2	OBTENÇÃO DO ALUMÍNIO	15
2.1.3	O PROCESSO BAYER.....	16
2.1.4	O PROCESSO HALL-HÉROULT	16
2.1.5	LIGAS DE ALUMÍNIO	17
2.2	O PROCESSO DE EXTRUSÃO	20
2.2.1	EXTRUSÃO INDIRETA	21
2.2.2	EXTRUSÃO DIRETA	22
2.2.3	TEMPO MORTO.....	22
2.2.4	VARIÁVEIS DO PROCESSO DE EXTRUSÃO	23
2.3	PERFIS DE ALUMÍNIO	25
3	METODOLOGIA E COLETA DE DADOS	27
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	32
5	CONCLUSÃO.....	33
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
	GLOSSÁRIO	35
	APÊNCICE A – RELAÇÃO DOS PERFIS X CUSTOS DE PRODUTIVIDADE .	36
	APENDICE A – Continuação.....	37
	APENDICE A – Continuação.....	38

1 INTRODUÇÃO

A extrusão do alumínio é realizada em prensas hidráulicas, de diferentes capacidades, para diferentes diâmetros de matéria prima, e para diferentes diâmetros de ferramentas, produzindo uma variedade muito grande de perfis.

Alguns tipos de perfis podem ser produzidos em vários tipos de prensas, porém o rendimento pode ser afetado por uma quantidade de fatores, como número de furos, massa linear, diâmetro e comprimento do billet (tarugo), comprimento da mesa de saída dos perfis, etc.

A empresa em questão, possui duas prensas de extrusão: uma de 1500 t para tarugos de 7"(180 mm) e outra de 2000 t para tarugos de 9"(230 mm).

A primeira operou por alguns anos como a única prensa, e todo o ferramental foi desenvolvido para essa prensa, até mesmo aqueles mais pesados, por ser a única opção.

Posteriormente, após expansão da empresa, foi instalada mais uma prensa, de 9", e houve necessidade de ferramentas fabricadas exclusivamente para ela, de maneira gradual, com os perfis mais pesados, e acessórios que permitiam o uso das ferramentas antigas, nessa nova prensa.

As ferramentas mais antigas, e facilmente identificáveis como ideais para a prensa de 9", foram migradas, porém uma grande quantidade foi mantida na prensa antiga de 7".

Esse estudo visa analisar caso a caso as ferramentas, aplicando parâmetros de extrusão, verificando os resultados calculados de produtividade, e verificando na prática os resultados obtidos.

Do estudo resultará uma lista dos perfis ideais para cada prensa, com base nos custos da produtividade, considerando-se os resultados obtidos.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 O ALUMÍNIO

O Alumínio (Figura 1) é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre e que veio a tornar-se um importante material de engenharia no final do século XIX. O crescimento da indústria do Alumínio deu-se com o desenvolvimento do seu método de obtenção e simultaneamente com desenvolvimento da indústria automobilística, de eletricidade e aeronáutica/militar. (ASM International, 1992)

Foi descoberto em 1809 por Humphrey Davy e em 1825 foi isolado em uma forma mais próxima da que o conhecemos hoje, pelo físico dinamarquês Hans Christian Oersted. (ABAL, 2018) O Alumínio mesmo que indiretamente, é utilizado desde a antiguidade, como pelos Persas que em 6000 A.C. já produziam cerâmicas com uma argila contendo o óxido de alumínio, e pelos Egípcios por volta de 3000 a.C. que o utilizavam em medicamentos e cosméticos. (ABAL, 2018)

Figura 1 – Alumínio de alta pureza



Fonte: www.hydro.com

2.1.1 CARACTERÍSTICAS DO ALUMINIO

A combinação das propriedades distintas do Alumínio, o torna um metal extremamente versátil quanto a aplicação na engenharia, indústria, na arquitetura e construção civil. (ABAL, 2007). Existem mais de trezentas ligas reconhecidas com diferentes propriedades físicas

desenvolvidas desde o alumínio puro até a liga mais complexa, e muitas outras desenvolvidas especificamente entre fornecedores/clientes. (ASM International, 1992)

Abaixo algumas das principais características que fazem do alumínio economicamente atrativo para diversas aplicações.

Massa específica:

Esta é uma das principais características do alumínio. Sua massa específica é de aproximadamente 2,7 g/cm³, que representa 35% da massa do aço e 30% o do cobre. (ABAL, 2007)

Propriedades mecânicas:

O alumínio puro possui resistência a tração de 90 MPa, mas com aplicação de deformação a frio, essa resistência pode dobrar. Com a adição de elementos de liga, pode chegar a 700 MPa. Com a combinação de adição de elementos de liga, trabalho a frio e tratamento térmico pode-se obter uma grande variedade de propriedades mecânicas, conforme Tabela 1. (ABAL, 2007)

Tabela 1 – Propriedades físicas típicas alumínio-aço-cobre

Propriedades físicas típicas	Alumínio	Aço	Cobre
Densidade (g/cm ³)	2,7	7,86	8,96
Temperatura de fusão (°C)	660	1500	1083
Módulo de elasticidade (MPa)	70000	205000	110000
Coefficiente de dilatação térmica (L/°C)	23x10 ⁻⁶	11,7x10 ⁻⁶	16,5x10 ⁻⁶
Condutibilidade térmica a 25°C (Cal/cm/°C)	0,53	0,12	0,94
Condutibilidade elétrica (%IACS)	61	14,5	100

Fonte: Adaptado de ABAL

Resistência a Corrosão:

O alumínio possui uma autoproteção contra a corrosão, pois uma fina camada de óxido, invisível, forma-se imediatamente após sua exposição ao oxigênio da atmosfera. Essa camada protege o alumínio de oxidações posteriores. O alumínio resiste bem ao tempo e a ambientes industriais, mas não resiste a álcalis e a montagens em contato direto com alguns metais, sem proteção, sob risco de corrosão galvânica. (ABAL, 2007)

Condutibilidade elétrica:

O alumínio possui condutividade elétrica de 60% da IACS. Considerando a densidade do alumínio, ele pode conduzir tanta corrente elétrica quanto um condutor de cobre que é duas vezes mais pesado, e proporcionalmente mais caro. (ABAL, 2007)

Reciclagem:

O alumínio é infinitamente reciclável sem perda de suas características físico-químicas. (ABAL, 2007)

Condutividade térmica.

O alumínio possui condutividade térmica (k) de 4,5 vezes maior que a do aço doce, o que o torna ideal para uso em trocadores ou dissipadores de calor. (ABAL, 2007)

2.1.2 OBTENÇÃO DO ALUMÍNIO

O alumínio não é encontrado na natureza na sua forma metálica. Ele é encontrado na bauxita (Figura 2), que precisa ser minerada e processada para obtenção da alumina, e esta então processada para obtenção do alumínio. Esses processos são denominados BAYER e HALL-HÉROULT, respectivamente.

Figura 2 - Bauxita

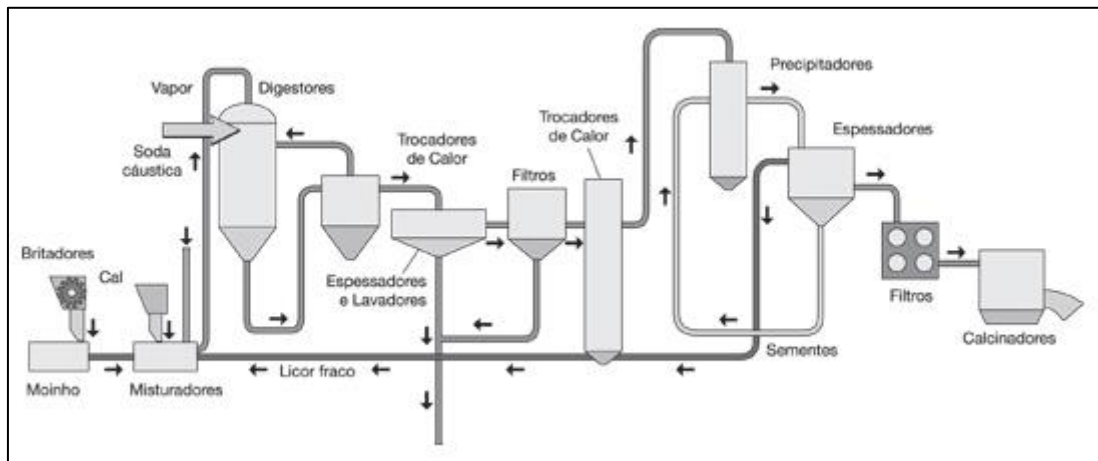


Fonte: www.cba.com.br

2.1.3 O PROCESSO BAYER

O processo Bayer, como esquematizado na Figura 3, foi desenvolvido por Karl Josef Bayer, em 1892. É um processo químico no qual a bauxita é moída, dissolvida em soda cáustica e posteriormente filtrada para separar o material sólido para a cristalização da alumina. Neste estágio a alumina é então calcinada, para remoção da água residual e outros gases, ainda presentes nos cristais, resultando na alumina pura. (ABAL, 2007)

Figura 3 – Diagrama processo Bayer

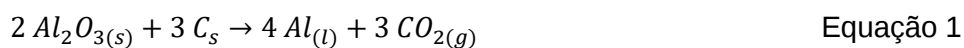


Fonte: www.abal.org.br

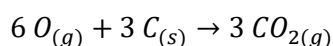
Em seguida a Alumina é reduzida através do processo Hall-Héroult.

2.1.4 O PROCESSO HALL-HÉROULT

O processo Hall-Heroult, (Figura 4) é o processo através do qual se obtém o alumínio metálico a partir da eletrólise da alumina. A alumina é carregada controladamente em uma cuba contendo um banho de sais de criolita e fluoreto de alumínio fundidos. (ABAL, 2007) Com a adição da alumina e com a passagem de corrente elétrica a ela é reduzida conforme reações descritas nas Equações 1, 2 e 3. (MOURA, et al., 2018)



No ânodo se forma o CO₂:

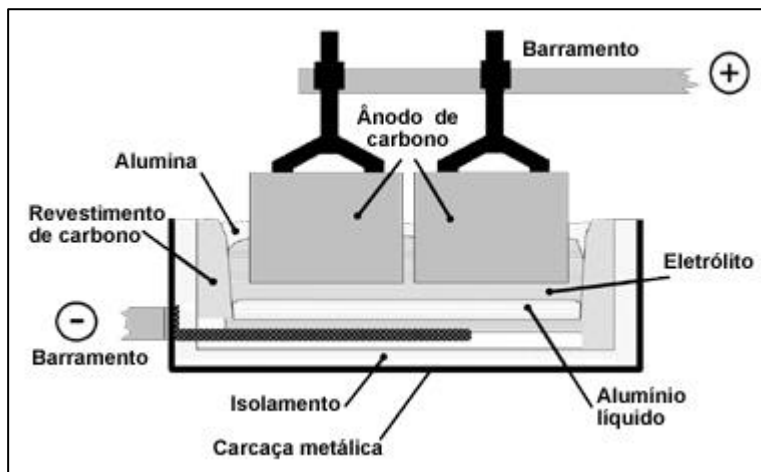


E no cátodo forma-se o alumínio em estado de fusão:



O alumínio metálico no estado líquido forma-se no cátodo no fundo da cuba e permanece lá devido a diferença de densidade entre o alumínio e o banho eletrolítico. É então drenado para uma panela. O alumínio obtido por esse processo tem uma pureza de 99,5%, sendo o restante principalmente ferro, silício, cobre manganês e titânio. (MOURA, et al., 2018)

Figura 4 – Diagrama de uma célula de redução para alumínio primário



Fonte: www.abal.com.br

2.1.5 LIGAS DE ALUMÍNIO

De acordo com ABAL (2007), o objetivo primário das ligas de alumínio é melhorar as propriedades mecânicas sem prejuízo às demais propriedades do alumínio. O desenvolvimento de novas ligas aplicando a combinação das propriedades, visa atender aplicações específicas. Todas as ligas de alumínio trabalháveis, podem ser conformadas pelo processo de extrusão, porém há ligas que permitem a obtenção de uma gama de propriedades e serem extrudadas de maneira eficiente. Algumas apresentam maior ou menor grau de dificuldade a depender da sua composição química. (ABAL, 2014)

No Brasil, as ligas são classificadas de acordo com a norma ABNT NBR ISO 209:2010. Na Tabela 2, estão as classificações das ligas:

Tabela 2 – Classificação do alumínio e suas ligas

Grupo	Principal elemento de liga
1XXX	Alumínio não ligado com no mínimo 99,00% de pureza
2XXX	Cobre
3XXX	Manganês
4XXX	Silício
5XXX	Magnésio
6XXX	Magnésio e silício
7XXX	Zinco
8XXX	Outros elementos
9XXX	Série não utilizada

Fonte: Adaptado de ABAL

2.1.5.1 LIGAS DO GRUPO 6XXX

O principal grupo de ligas utilizados na extrusão são as do grupo 6XXX, pois são tratáveis termicamente e possuem boa extrudabilidade, e uma ampla gama de aplicações, conforme pode ser observado nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3: Extrudabilidade das ligas trabalháveis de alumínio

Liga	Dificuldade de extrusão				
	Muito fácil	Fácil	Intermediária	Difícil	Muito difícil
	1050 1100 1350	6060-6063 6101-6463 (considerar a base 100 neste grupo)	6005A-6061 6082-6261 6262-6351	2011-2017 5052-6013 7020-7104	2014-2024 5356-7011 7075
Índice de velocidade	130	100 / 80	75 / 50	45/30	25/10
Índice de produtividade	110	100/90	85/60	55/40	30/15
Índice de eficiência ¹⁾	100	100/95	95/80	80/60	70/50
Análise de valor (valor relativo)	1,000	1,000/1,060	1,080 /1,300	1,300/1,700	2,000/3,000

Fonte: ABAL

Tabela 4: Aplicações típicas das ligas do grupo 6XXX

Liga	Características	Aplicações típicas
6005A 6261	Boa resistência mecânica, boa resistência à corrosão, boa conformabilidade (melhor é a 6261), média usinabilidade.	Carrocerias de veículos, estruturas e equipamentos.
6060 6063	Média resistência mecânica, alta resistência à corrosão, boa conformabilidade (melhor é a 6063). Apropriada para anodização decorativa fosca.	Perfis para construção civil, caixilharia em geral, tubos de irrigação, móveis e iluminação.
6061	Média resistência mecânica, boa resistência à corrosão, boa conformabilidade, média usinabilidade, melhor soldabilidade.	Estruturas, construção naval, veículos, indústria moveleira, rebites.
6082 6351	Boa resistência mecânica, alta resistência à corrosão, boa conformabilidade, média usinabilidade.	Engenharia estrutural, construção de navios, veículos e equipamentos, peças usinadas em tornos automáticos, forjamento a frio.
6101	Alta condutividade elétrica, média resistência mecânica, boa resistência à corrosão.	Liga especial para fins elétricos e barramentos (estruturas). Ver ABNT NBR 14334
6262	Alta resistência mecânica, alta resistência à corrosão, ótima usinabilidade. Apropriada para anodização decorativa.	Peças usinadas em torno automático. Excelente alternativa para o latão de corte livre.
6463	Média resistência mecânica, boa resistência à corrosão, boa conformabilidade. Apropriada para anodização decorativa de alto brilho.	Painéis e frisos para eletrodomésticos, automóveis e armários.

Fonte: Adaptado de ABAL

Os principais elementos de liga das ligas do grupo 6XXX são o magnésio e o silício, que formam o composto de intermetálico Mg_2Si , que confere as propriedades mecânicas desejáveis quando formado e distribuído na matriz de alumínio. (ABAL, 2014)

Outros elementos que compõem as ligas do grupo 6XXX são o Fe, Cu, Mn, Cr, Mg e Ti.

A Tabela 5 mostra a influência dos elementos nas características das ligas:

Tabela 5: Influência dos elementos de liga

Elemento de liga	Extrudabilidade	Sensibilidade à tempera	Ductilidade e tenacidade	Resistência mecânica
Mg (Mg ₂ Si)	--	++	--	++
Si em excesso	1)	+	2)	++
Mn	-	+	++	3)
Cr	--	+	++	3)
Fe	-	4)	+	4)
Cu	4)	-	4)	++
++ Muito bom + Bom - Ruim -- Muito ruim				
NOTAS 1) Para teores de Mg constantes. 2) Sem adição de Mn e Cr. 3) Pouca influência desde que a taxa de resfriamento seja alta. 4) Pouca ou influência desprezível. Acima dos limites escurece a anodização e diminui as propriedades mecânicas.				

Fonte: ABAL

2.2 O PROCESSO DE EXTRUSÃO

O processo de extrusão caracteriza-se como o processo de conformação termomecânica do alumínio, pela passagem forçada do tarugo de alumínio (*billet*), por uma matriz que lhe atribui o formato final. Este processo pode ser realizado a quente ou a frio, contudo, devido as grandes forças necessárias, seja feito a majoritariamente a quente. (ABAL, 2014). O processo de extrusão pode ser indireto ou direto.

Ainda segundo ABAL (2014), a maioria dos perfis produzidos no mundo são fabricados em prensas de extrusão com força entre 1200 e 2400 t, embora existam prensas de até 15000 t para fabricação de perfis grandes e complexos. E existem também as prensas pequenas de 500 t para fabricação de perfis leves de maneira econômica. As prensas são comumente designadas pela sua força (em toneladas) ou pelo diâmetro do billet com que ela trabalha. A pressão específica das prensas é dada pela divisão da força aplicada sobre o cilindro principal pela área do recipiente, daí a proximidade entre as pressões específicas das prensas de grande força e maior diâmetro de tarugo, e as de pequena força e menor diâmetro de tarugo, conforme Tabela 6. (ABAL, 2014)

Tabela 6: Capacidade da prensa e pressão específica

Força (t)	Diâmetro (polegadas)	Pressão (MPa)
2000	8	547
500	4	480

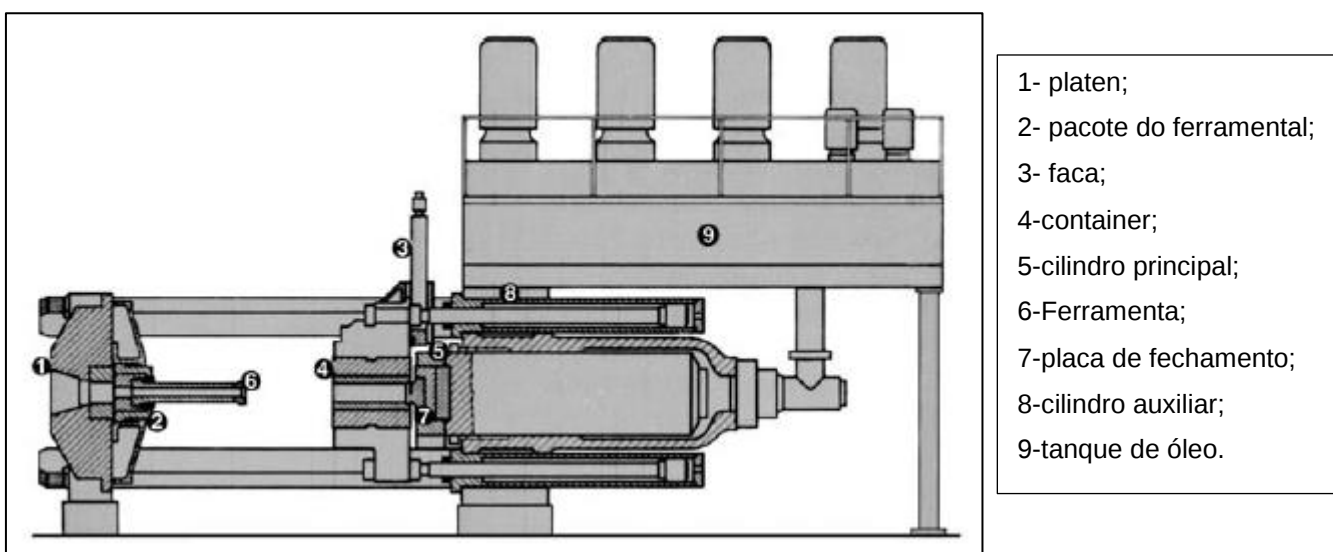
Fonte: adaptado de SAHA (2000)

Em uma planta de extrusão completa, a prensa é o principal equipamento, porém há a necessidade de diversos equipamentos que integram o processo como fornos de aquecimento de tarugos, equipamentos para corte dos billets, fornos para aquecimento das ferramentas, fornos de tratamento térmico, equipamentos para manuseio e estiramento dos perfis, racks para transporte, equipamentos para corte dos perfis. (ABAL, 2014)

2.2.1 EXTRUSÃO INDIRETA

É o processo no qual o billet é empurrado juntamente com o recipiente e força a passagem do metal através da matriz estacionária, e o perfil escoa por dentro do pacote do ferramental (ABAL, 2014). Como não existe atrito entre a parede do recipiente e o billet, as forças necessárias são menores na ordem de 20 a 25% em relação a extrusão direta. (CAMPANA, 2018). Na Figura 5 está exemplificado o processo.

Figura 5 – Esquema prensa de extrusão indireta



Fonte: Adaptado de SAHA, 2000

As principais vantagens segundo Saha (2000), são:

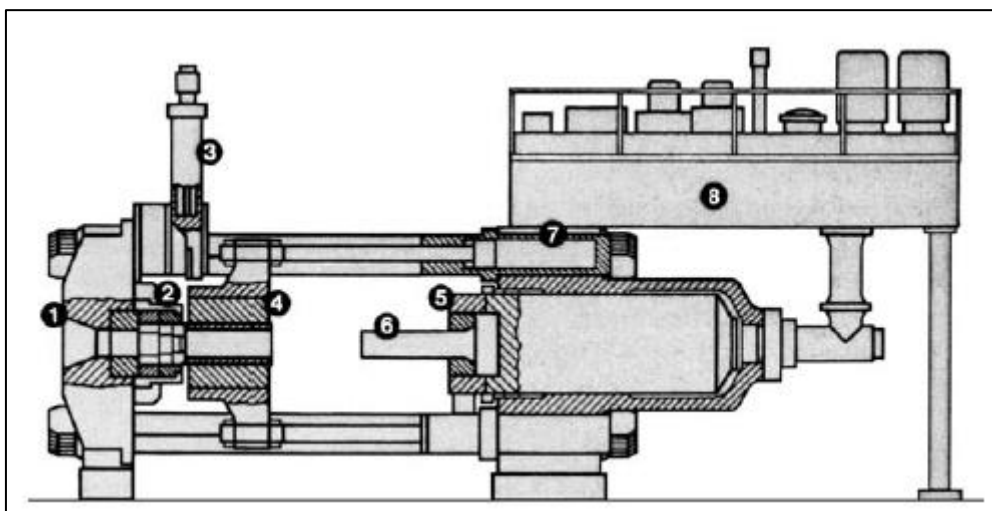
- Maior velocidade de extrusão
- Talões menores
- Estrutura mais uniforme ao longo da extrusão
- Permite seções mais finas
- Tolerâncias mais apertadas ao longo do perfil
- Temperatura do billet e do container mais uniformes durante a extrusão
- Maior vida útil do container e do liner

O diâmetro a ser extrudado fica limitado ao diâmetro do furo do stem, o stress sofrido pelo stem é maior e o manuseio do ferramental é mais difícil. (SAHA, 2000)

2.2.2 EXTRUSÃO DIRETA

O processo de extrusão direta é o mais utilizado, pois permite a produção de uma grande variedade de perfis. Nesse processo, a matriz e o container ficam fixos durante o processo de extrusão, e o billet é empurrado pela haste ("stem"). Devido ao atrito entre o billet e o recipiente, a força necessária é maior. (ABAL, 2014). Na Figura 6 está exemplificado o processo.

Figura 6 – Esquema prensa extrusão direta



- 1- platen;
- 2- pacote do ferramental;
- 3- faca;
- 4- container;
- 5- cilindro principal;
- 6-haste;
- 7-tanque de óleo.

Fonte: Adaptado de SAHA, 2000

2.2.3 TEMPO MORTO

O processo de extrusão é realizado em ciclos. A cada billet extrudado, é contado um ciclo. O intervalo entre os ciclos é denominado tempo de manobra ou "tempo morto". Nesse intervalo são realizadas diversas manobras da prensa, representadas na tabela 7, que representa uma prensa benchmark de 7" e 1800 t. (ABAL, 2014)

Ainda segundo ABAL (2014) o controle e a otimização desse tempo são muito importantes, pois cálculos demonstram que 1 segundo de ganho no tempo de manobra representa em uma economia de US\$ 30.000 ao ano.

Tabela 7: Representação do ciclo da extrusão

Manobra da prensa	Tempo (s)	Sobrepor tempos quando possível		Sobrepor tempos quando possível	
Recipiente avança e sela	1,8	2,8-1=1,8	(boa parte sobreposto)		
Carregador de tarugo sobe	1,0		1,0		
Pistão principal avança	2,7		2,7		
Carregador de tarugo desce	sobreposto		sobreposto		
Pistão principal avança devagar	0,6		0,6		
Válvula de preenchimento fecha	0,7		0,7		
"BREAK-THRU" (preenchimento)	EXTRUSÃO		"BREAK-THRU"		
EXTRUSÃO DO PERFIL NA MESA		...UMA DAS... PARTES DO TEMPO MORTO	Perfil saindo na mesa		
Descompressão do pistão principal	0,6			0,6	
Válvula de preenchimento abre	0,4			0,4	
Recipiente "desmolda"	0,4			0,4	
Recipiente abre	1,2			1,2	
Pistão principal volta com o recipiente	sobreposto			(1,2)	
Guilhotina "corta talão" desce	1,0	(tempo sem pressão)		1,0	
Guilhotina para e corta o talão	0,5			0,5	
Guilhotina sobe	1,8			1,8	
Pistão principal retorna	1,2	(quase todo sobreposto)		5,7-4,5=1,2	
Tempo morto total	13,9	6,8	TEMPO DE EXTRUSÃO (tempo com pressão)	7,1	

Fonte: ABAL, 2014

2.2.4 VARIÁVEIS DO PROCESSO DE EXTRUSÃO

Segundo ABAL (2014), as principais variáveis do processo de extrusão são:

- A Temperatura de trabalho
- O fator de Transformação
- A velocidade de extrusão
- O comprimento do tarugo

2.2.4.1 A TEMPERATURA DE TRABALHO

O processo de extrusão do alumínio é comumente denominado de trabalho de deformação a quente. Durante o processo de extrusão, é importante controlar as temperaturas de entrada do tarugo, temperatura emergente, que é a temperatura na qual o perfil extrudado apresenta na saída da matriz, e a temperatura do container.

No processo de extrusão, é comum a utilização de temperaturas emergentes do perfil entre 340°C e 530°C, de acordo com a liga utilizada. Para os tarugos as temperaturas são mais baixas, cerca de 40°C a 130°C menores que a temperatura emergente. (ABAL, 2014)

A diferença é compensada com o calor gerado durante o processo de extrusão, pelo atrito entre o tarugo e a parede do recipiente e pela intensa deformação que o material sofre ao passar pela matriz. (ABAL, 2014)

2.2.4.2 O FATOR DE TRANSFORMAÇÃO (FT)

O Fator de Transformação (FT) é dado pela relação entre a área do recipiente e a área do perfil extrudado, conforme Equação 4.

Segundo SAHA (2000), o Fator de Transformação é uma indicação nítida da quantidade de trabalho mecânico desenvolvido durante o processo de extrusão.

$$FT = \frac{A_R}{nA_P} \quad \text{Equação 4}$$

onde:

A_R é a área da seção transversal útil do recipiente

n é o número de furos da matriz

A_P é a área da seção transversal do perfil

A deformação efetiva é função do fator de transformação e a pressão necessária para a extrusão é função da deformação. A quantidade de trabalho necessária varia de acordo com o FT. (SAHA, 2000)

2.2.4.3 A VELOCIDADE DE EXTRUSÃO

O comportamento do metal no processo de extrusão também é influenciado à velocidade da deformação. O aumento da velocidade do pistão produz o aumento da pressão necessária para a extrusão. Isto se dá devido a taxa de deformação ser diretamente proporcional a velocidade de avanço do pistão e a quantidade de calor gerado no processo também ser proporcional a taxa de deformação. (SAHA, 2000)

A velocidade de extrusão (saída do perfil da matriz) também está relacionada ao FT. A relação entre o FT, a velocidade de extrusão e a velocidade de avanço do pistão é descrita na Equação 5 a seguir: (SAHA, 2000)

$$V_P A_R = V_E (nA_P) \quad \text{Equação 5}$$

onde:

V_P é a velocidade de avanço do pistão

A_R é a área da seção transversal útil do recipiente

V_E é a velocidade de extrusão

n é o número de furos da matriz

A_p é a área da seção transversal do perfil

logo:

$$V_E = V_R \frac{A_R}{nA_p}$$

que também pode ser expressa como:

$$V_E = V_R FT$$

2.2.4.4 O COMPRIMENTO DO TARUGO

A pressão necessária para ocorrer a extrusão está também diretamente relacionada ao comprimento do tarugo utilizado, devido ao atrito que ocorre entre o tarugo e a parede do recipiente durante a extrusão. Ligas mais duras naturalmente necessitam de mais pressão para extrusão, e nesses casos pode ser necessária a redução do comprimento do tarugo caso ocorra problemas de pressão na prensa. (ABAL, 2014)

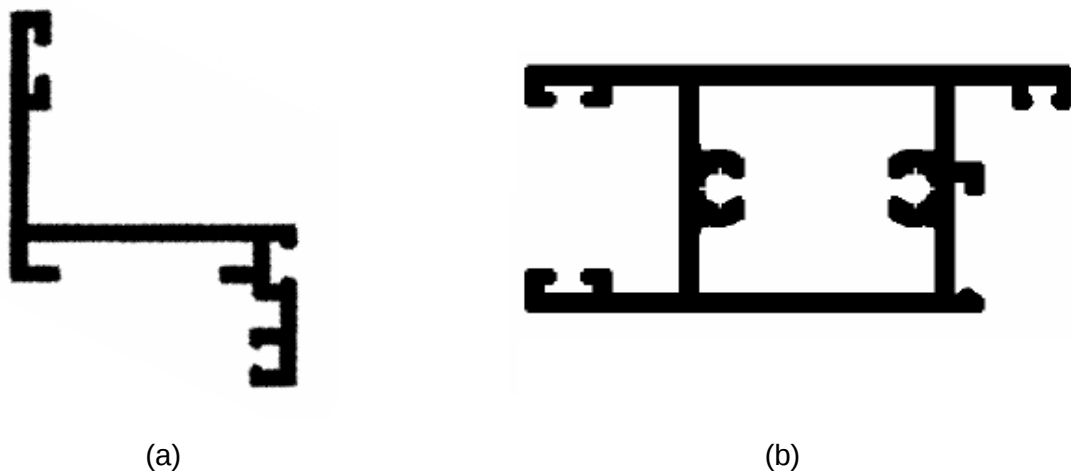
2.3 PERFIS DE ALUMÍNIO

Os perfis de alumínio são classificados quanto a geometria de sua seção transversal. Podem ser sólidos ou tubulares. (Figura 7)

Perfis sólidos são aqueles que não apresentam nenhum vazio totalmente envolvido por metal.

Perfis tubulares são aqueles que possuem no mínimo um vazio totalmente envolto por metal.

Figura 7: Desenho representação perfil (a) sólido e (b) tubular

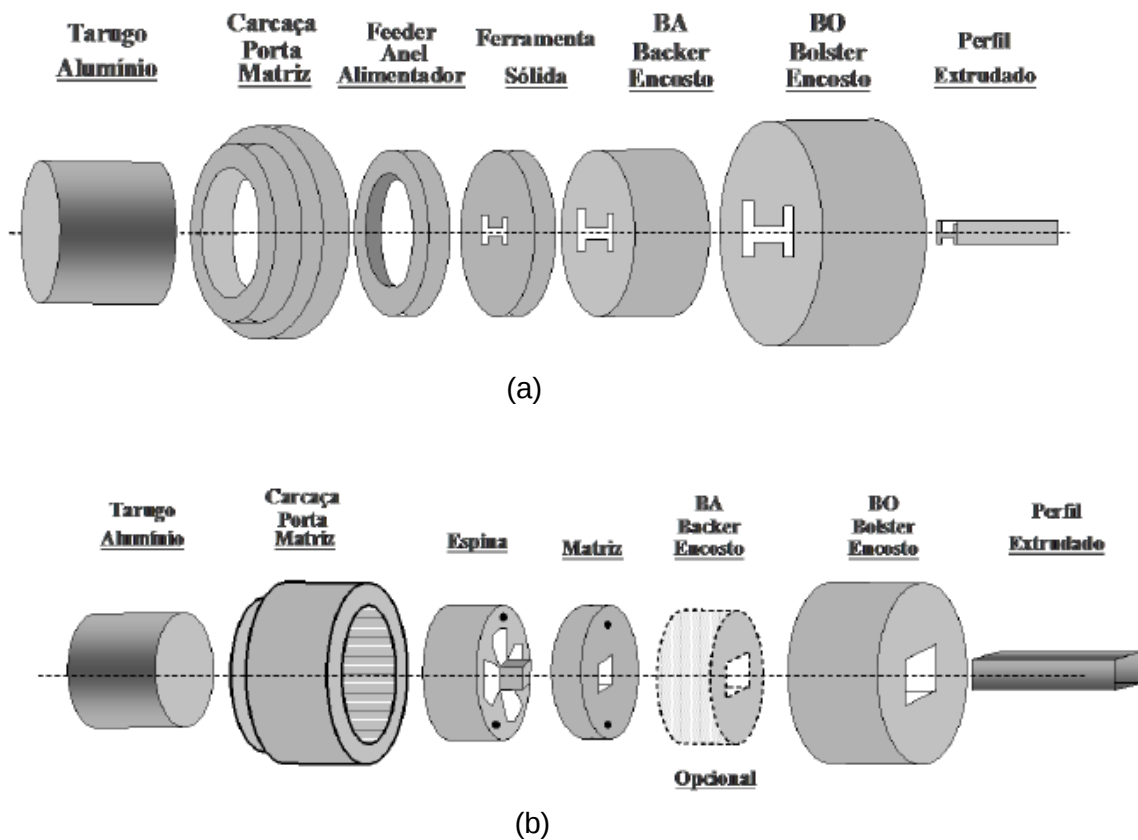


Os perfis sólidos e tubulares necessitam de ferramentas bem diferentes no que se refere a seu projeto e componentes do ferramental. (ABAL, 2014)

Para a produção de perfis sólidos são utilizadas matrizes com a abertura de saída do metal diretamente na matriz (Figura 8a)

Já para os perfis tubulares, a ferramenta é composta basicamente por duas partes: a matriz e a espina, que quando montadas, formam uma câmara por onde o metal escoar em direção a saída, formando o perfil de alumínio conforme a abertura formada entre a matriz e a espina. (Figura 8b) (ABAL, 2014)

Figura 8: Representação do conjunto ferramenta/acessórios para perfis sólidos.



Fonte: Adaptado de CAMPANA, 2018

3 METODOLOGIA E COLETA DE DADOS

Para determinar o custo da produtividade por quilograma de perfil, utilizando as diversas ferramentas disponíveis para ambas as prensas de 7” e 9”, elaborou-se uma planilha para calcular a produtividade de cada item, com base em informações do histórico de produção dos perfis.

Para delimitar o trabalho e obter resultados mais significativos, foram selecionadas apenas as ferramentas que contém a mesma quantidade de furos para um mesmo perfil, dessa forma fica evidente a diferença entre ambas utilizando uma mesma base.

Nos demais casos onde há mais de uma ferramenta para um mesmo perfil, mas quantidades diferentes de furos por terem sido projetadas para uma prensa ou outra, também poderão ser analisados utilizando o mesmo critério, pois a metodologia leva em consideração variáveis como o Fator de Transformação e Velocidade de Extrusão.

As características importantes do equipamento para este estudo, e os dados pré calculados necessários para o objetivo do estudo são os constantes da Tabela 8.

Para a descrição do procedimento, os cálculos foram realizados considerando como base os parâmetros da prensa de 7”, doravante denominada P1. Os parâmetros para a P1 são encontrados na Tabela 8 identificados pelo sufixo “1”.

Tabela 8: Parâmetros de Cálculo

Abrev.	Descrição	Valor	Unid
DL1	Diâmetro liner 1	185	mm
DL2	Diâmetro liner 2	236	mm
AL1	Área liner 1	268,8025	cm ²
AL2	Área liner 2	437,4354	cm ²
DENQ	Densidade alumínio a 440 °C	2,681351	g/cm ³
DB1	Diâmetro Billet 1	177,8	mm
DB2	Diâmetro Billet 2	228,6	mm
CAXB1	Comprimento Máximo Billet 1	900	mm
CAXB2	Comprimento Máximo Billet 2	1340	mm
CMINB1	Comprimento Mínimo Billet 1	570	mm
CMINB2	Comprimento Mínimo Billet 2	420	mm
CAXP1	Comprimento Máximo Puxada 1	50	m
CAXP2	Comprimento Máximo Puxada 2	56	m
CMINP1	Comprimento Mínimo Puxada 1	12,5	m
CMINP2	Comprimento Mínimo Puxada 2	6	m
CMAFS1	Comprimento Máximo Serra Fria 1	8010	mm
CMAFS2	Comprimento Máximo Serra Fria 2	16000	mm

Tabela 8: Parâmetros de Cálculo (continuação)

Abrev.	Descrição	Valor	Unid
MMAXB1	Massa Máxima Billet 1	60,04578	kg
MMAXB2	Massa Máxima Billet 2	147,7861	kg
MMINB1	Massa Mínima Billet 1	38,02899	kg
MMINB2	Massa Mínima Billet 2	46,32103	kg
MLBQ1	Massa Linear Billet 1 a 440 °C	72,07539	kg/m
MLBQ2	Massa Linear Billet 2 a 440 °C	117,2918	kg/m
MTLMM1	Massa Talão (mm) 1	0,072075	kg/mm
MTLMM2	Massa Talão (mm) 2	0,117292	kg/mm
TM1	Tempo Morto 1	16	s
TM2	Tempo Morto 2	17	s
HM1	Hora máquina 1	1531,439	R\$/h
HM2	Hora máquina 2	1842,594	R\$/h
MLCBQ1	Massa Linear p/ Corte Billet 440 °C 1	66,71753	kg/m
MLCBQ2	Massa Linear p/ Corte Billet 440 °C 2	110,2882	kg/m

Fonte: do autor

Seleção da Matriz:

Utilizou-se uma ferramenta do tipo sólida de dois furos com as seguintes características:

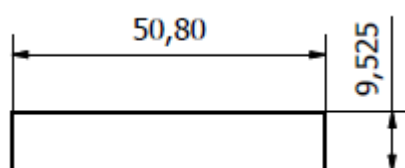
Perfil: SOL0157

Furos: 2

Área: 483,87 mm²

Massa linear: 1,306 g/m

Dimensões: 50,8 mm x 9,525 mm



Seleção do produto (perfil x comprimento)

O produto a analisado foi um perfil comercial, aqui denominado SOL0157 com comprimento de 6 metros.

A massa de uma barra de 6 metros é dado pela multiplicação do comprimento pela sua massa linear por metro:

$$M_{barra} = M_{lin} \cdot L$$

onde:

M_{lin} = Massa Linear do perfil

L = Comprimento da barra

Substituindo os dados do perfil na equação, temos:

$$M_{barra} = 1,306 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 6 \text{ m} \cong 7,839 \text{ kg}$$

Número de cortes

Com base no comprimento máximo da puxada (C_{maxP_1}) e no comprimento máximo do tarugo comportado pelo recipiente, calcula-se o número de cortes (n_{cortes}) possíveis no comprimento do produto acabado, por ciclo. O comprimento máximo do tarugo foi convertido para a massa máxima (M_{maxb1}), dessa forma, isolando-se a puxada máxima (Pux_{max}) utilizando a massa máxima do tarugo, temos:

$$Pux_{max} = \frac{M_{maxb1} - (M_{maxb1} \cdot \%_{talão})}{M_{lin} \cdot n_{furos}}$$

onde:

M_{maxb1} é a massa máxima do tarugo em função do comprimento do recipiente

$\%_{talão}$ é o percentual do tarugo a ser descartado no talão

Para esse perfil utilizado, adotou-se um percentual de 2% da massa do tarugo para descarte no talão.

Substituindo os valores na equação, temos:

$$Pux_{max} = \frac{60,046 \text{ kg} - (60,046 \text{ kg} \cdot 0,02)}{1,306 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 2}$$

$$Pux_{max} \cong 22,528 \text{ m}$$

Caso a puxada máxima exceda o limite de comprimento da mesa de saída (C_{maxP_1}), deve-se refazer o cálculo isolando-se (M_{maxb1}) e refazer o cálculo de (Pux_{max}) com nova massa máxima que não permita a puxada exceder o máximo permitido.

O número de cortes inteiros é então determinado pela simples divisão:

$$n_{cortes} = \frac{Pux_{max}}{L} = \frac{22,528 \text{ m}}{6 \text{ m}} = 3$$

Puxada real

Com o número de cortes de produto acabado definido, calcula-se então o comprimento da puxada a ser utilizado durante a produção.

A puxada é a soma do número de cortes multiplicado pelo comprimento do corte, acrescida do comprimento do material excedente para descarte, no início e fim de cada puxada.

O perfil utilizado para o desenvolvimento desse modelo, tem um descarte de 0,6 m no início e 0,6 m no fim de cada puxada, dessa forma:

$$Pux_{real} = (n_{cortes} \cdot L) + Desc_{ini} + Desc_{fim}$$

substituindo:

$$Pux_{real} = (3 \cdot 6 \text{ m}) + 0,6 \text{ m} + 0,6 \text{ m} = 19,2 \text{ m}$$

Massa do tarugo

Determinada a puxada real de trabalho, determina-se então a massa do tarugo necessária para a produção do perfil, considerando a perda de 2% de descarte de talão:

$$M_{tar} = \frac{Pux_{real} \cdot M_{lin} \cdot n_{furos}}{1 - \%_{talão}}$$

$$M_{tar} = \frac{19,2 \text{ m} \cdot 1,306 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 2}{1 - 0,02} \cong 51,17 \text{ kg}$$

Ciclos por hora

Para calcular a produtividade do perfil, é necessário antes determinar a quantidade de ciclos por hora que o equipamento realiza durante a produção do item.

Um ciclo é caracterizado pelo tempo total de extrusão (tempo da máquina com pressão), acrescido do tempo de manobra ou “tempo morto”. A cada tarugo extrudado a máquina realiza um ciclo.

Para calcular o tempo de extrusão de um tarugo, divide-se o comprimento da puxada resultante da extrusão em metros, pela velocidade em metros por minuto.

$$T_{extr} = \frac{Pux_{real}}{V_{perfil}}$$

A velocidade de saída do perfil adotada para os cálculos é de 15 m/min, que é a velocidade de extrusão prevista em ficha de processo para esse item.

Substituindo os valores na eq., temos:

$$T_{extr} = \frac{19,2 \text{ m}}{15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}} \cdot 60 \cong 77 \text{ s}$$

Soma-se então ao tempo de extrusão, o tempo morto médio do equipamento, informado na Tabela 8. Dessa forma obtém-se o tempo de um ciclo:

$$T_{ciclo} = T_{extr} + TM_1$$

$$T_{ciclo} = 77 \text{ s} + 16 \text{ s} \cong 93 \text{ s}$$

Conhecendo-se o tempo de um ciclo, obtemos então a quantidade de ciclos por hora:

$$Ciclos_h = \frac{3600}{T_{ciclo}} = \frac{3600}{93 \text{ s}} \cong 38,79 \frac{\text{ciclos}}{h}$$

Produtividade

Finalmente, para calcular a produtividade líquida em quilogramas por hora, determina-se a massa líquida dos perfis cortados no comprimento nominal, multiplicando sua massa

linear pelo comprimento e pela quantidade de barras cortadas em cada ciclo e pela quantidade de furos da ferramenta:

$$M_{liq} = M_{lin} \cdot L \cdot n_{furos} \cdot n_{cortes}$$

$$M_{liq} = 1,306 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 6 \text{ m} \cdot 2 \cdot 3 \cong 47,016 \text{ kg}$$

A produtividade líquida calculada, considerando-se os parâmetros utilizados sem variações na velocidade de extrusão e sem nenhuma perda no processo é:

$$PRODUTIVIDADE P1 = M_{liq} \cdot \frac{n_{ciclos}}{h} = 47,016 \text{ kg} \cdot \frac{38,793}{h} \cong 1.823,89 \text{ kg/h}$$

Cálculo do custo da produtividade

Para calcular o custo da produtividade, utiliza-se o custo da hora máquina expresso em R\$ por hora e a produtividade líquida da prensa em quilogramas por hora.

No cálculo da produtividade, por questões de confidencialidade, utilizou-se um valor arbitrário de R\$ 1531,44, próximo da realidade.

$$C_{prd} = \frac{HM}{Produtividade}$$

$$C_{prd} = \frac{HM}{Produtividade} = \frac{R\$ 1531,44 / h}{1823,7 \text{ kg} / h} \cong R\$ 0,84 / \text{kg}$$

onde:

HM é o custo da hora-máquina ora definido

Produtividade é a produtividade calculada do item para a prensa selecionada

Repetindo-se os passos para a prensa de 9", com a mesma ferramenta e com a velocidade prevista em ficha de processo deste item de 19 m/min, e aplicando o custo da hora máquina de R\$ 1.842,59 temos o resultado da Tabela 9:

Tabela 9: Comparativo custo da produtividade SOL0157 – 7" e 9"

Produto	Comprimento (mm)	Prensa Nominal	Peso Linear Real (kg/m)	Nº Furos	FT	Vel. Extrusão (m/min)	Nº de Cortes por Puxada	Puxada (m)	ciclos/h	Produtividade líquida (kg/h)	Eficiência de Metal (estimado)	Custo Produtividade (R\$/kg)
SOL01572HARDP7	6000	P7	1,348	2	27,776	15	3	19,2	37,5807	1823,7	86,3%	R\$ 0,84
SOL01572HARDP9	6000	P9	1,355	2	45,202	19	8	49,2	20,0822	2612,3	90,6%	R\$ 0,71

Fonte: do Autor

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Como pode observar no resultado do caso utilizado na descrição do procedimento, há diferença nos custos onde já se torna possível a otimização.

Aplicando-se a metodologia a uma lista de 90 ferramentas, com a mesma quantidade de furos e com histórico de produção nas duas prensas nos últimos 15 meses, e projetando um cenário onde só se produziria o mesmo volume utilizando somente a prensa com o melhor custo, foi possível identificar uma economia factível em torno de R\$ 111 mil no período, ou R\$ 89 mil/ano.

No Apêndice A é possível verificar o resultado da otimização nas 90 ferramentas e o potencial ganho em relação ao um volume equivalente ao do histórico.

O PCP realiza a programação das prensas com base nas matrizes disponíveis. Existem ferramentas exclusivas para uma prensa e outra, que não apresentam, possibilidade de escolha.

No caso desse grupo de ferramentas, a programação de perfis utilizando-as, é feita para qualquer das prensas pois a ferramenta é liberada no sistema para ambas.

Com o resultado, a lista pode ser utilizada como base para bloquear a utilização da matriz na prensa onde o custo for maior.

5 CONCLUSÃO

Com a realização desse estudo, pôde-se constatar de maneira sintética, a diferença nos custos de produtividade e consequente impacto nos custos totais de fabricação, que tem forte influência sobre a margem de lucro da companhia. Utilizando o método de previsão da produtividade, nesse caso, tornou possível para o PCP escolher sempre a melhor matriz para a fabricação, e tornar as ferramentas disponíveis ou indisponíveis para cada prensa.

A otimização pode ser também aplicada aos perfis que possuem ferramentas com número de furos diferentes, direcionando sempre a produção para a prensa ideal.

É importante ressaltar, que a variação no custo da hora-máquina, torna necessária a readequação.

Outro ponto importante, é que o estudo se aplica somente ao caso específico, onde as ferramentas são identificadas como de possível utilização em ambas as prensas ou existam ferramentas do mesmo perfil e projeto diferente, para ambas as prensas.

Normalmente, as ferramentas são projetadas e fabricadas considerando-se previamente todas as variáveis que afetam a performance e a lucratividade do negócio, não sendo necessária nenhum tipo de reavaliação.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira do Alumínio. **Guia técnico do alumínio: características físico-químicas: vol 10**. São Paulo: ABAL, 2006.

Associação Brasileira do Alumínio. **Fundamentos e aplicações do alumínio**. São Paulo: ABAL, 2007.

Associação Brasileira do Alumínio. **Guia técnico do alumínio: extrusão: vol 1**. 5ª edição - São Paulo: ABAL, 2014.

ABAL. História do Alumínio. Disponível em <<http://abal.org.br/aluminio/historia-do-aluminio/>> Acesso em 04 dez 2018.

ASM International. ASM handbook vol. 2. Properties and selection: nonferrous alloys and special-purpose materials. ASM International, 1992.

CAMPANA, R. C. **Parâmetros de processo, microestrutura e textura das ligas de alumínio AA6063 e AA6082 extrudadas**. Biblioteca Digital - USP: Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-01042008-175024/pt-br.php>>. Acesso em 04 dez 2018.

MOURA, A. R.; *et al.* **Obtenção do Alumínio**. 2018. Disponível em <http://www.ufpa.br/getsolda/docs_graduacao/Trab_obt_aluminio.pdf>

SAHA, P. K. **Aluminum extrusion technology**. ASM International, 2000.

ABNT NBR ISO 209:2010: **Alumínio e suas ligas** – Composição química. Rio de Janeiro, 2010

GLOSSÁRIO

Billet: Tarugo

Descarte inicial e final: Partes do início e do fim do perfil extrudado, geralmente nas pontas da puxada, que são descartáveis por conter óxidos e abrigar outros defeitos e servir de ponto de apoio para o esticador.

Liner: Tubo que forma a parede interna do recipiente, onde o tarugo é prensado

Número de cortes: Número de secções com comprimento nominal possíveis de serem cortados em uma puxada.

Puxada: Comprimento total de perfil extrudado sobre a mesa de saída.

Talão: Parte restante do tarugo não extrudado, descartável, que retém as impurezas.

Tarugo: Barra cilíndrica de alumínio utilizada como matéria prima no processo de extrusão

APÊNCICE A – RELAÇÃO DOS PERFIS X CUSTOS DE PRODUTIVIDADE

ITEM	VOLUME		CUSTO		CUSTO		VOLUME		CUSTO		MENOR CUSTO DE		TOTAL		VALOR TOTAL MENOR		DIFERENÇA
	PRODUTIVO	P1 (kg)	PRODUTIVIDADE	P1 (R\$/kg)	CUSTO TOTAL	P1	PRODUTIVO	P2 (kg)	PRODUTIVIDADE	P2 (R\$/kg)	CUSTO TOTAL	P2	PRODUTIVO	P2 (kg)	PRODUTIVIDADE	P2 (R\$/kg)	
TUB07020SOFT		13.441,00	R\$	0,71	R\$ 9.567,92		136.656,00	R\$	0,90	R\$ 122.658,67		0,71	P1	150.097,00	R\$	106.845,94	R\$ 25.380,65
TUB07841SOFT		2.398,90	R\$	0,67	R\$ 1.606,29		44.554,42	R\$	0,68	R\$ 30.446,18		0,67	P1	46.953,31	R\$	31.439,74	R\$ 612,73
TUB05621HARD		1.948,61	R\$	1,31	R\$ 2.552,95		26.208,94	R\$	1,71	R\$ 44.740,04		1,31	P1	28.157,55	R\$	36.890,39	R\$ 10.402,60
TUB07181SOFT		479,00	R\$	0,66	R\$ 318,03		42.953,00	R\$	0,90	R\$ 38.525,79		0,66	P1	43.432,00	R\$	28.886,35	R\$ 10.007,47
SOLO1572HARD		44.236,00	R\$	0,51	R\$ 22.617,07		27.863,00	R\$	0,62	R\$ 17.258,38		0,51	P1	72.099,00	R\$	36.862,93	R\$ 3.012,52
SOLO0661HARD		3.041,45	R\$	1,02	R\$ 3.088,22		45.251,07	R\$	0,70	R\$ 31.674,49		0,70	P2	48.292,52	R\$	33.803,42	R\$ 959,29
SOLO1771SOFT		1.498,76	R\$	0,53	R\$ 794,07		5.873,93	R\$	0,89	R\$ 5.220,25		0,53	P1	7.372,69	R\$	3.906,19	R\$ 2.108,13
SOLO2791SOFT		8.536,56	R\$	0,76	R\$ 6.482,38		1.393,80	R\$	0,99	R\$ 1.384,75		0,76	P1	9.930,36	R\$	7.540,78	R\$ 326,35
SOLO1822SOFT		1.632,00	R\$	0,59	R\$ 967,12		5.378,00	R\$	0,94	R\$ 5.028,53		0,59	P1	7.010,00	R\$	4.154,11	R\$ 1.841,54
TUB07331HARD		3.777,86	R\$	1,39	R\$ 5.234,36		4.269,28	R\$	1,01	R\$ 4.305,34		1,01	P2	8.047,14	R\$	8.115,11	R\$ 1.424,59
SOLO0811HARD		1.779,43	R\$	0,76	R\$ 1.345,26		8.791,91	R\$	1,04	R\$ 9.145,10		0,76	P1	10.571,34	R\$	7.992,02	R\$ 2.498,34
TUB07611HARD		6.235,00	R\$	1,19	R\$ 7.436,74		2.611,00	R\$	1,14	R\$ 2.971,21		1,14	P2	8.846,00	R\$	10.066,38	R\$ 341,57
SOLO1631SOFT		852,00	R\$	0,75	R\$ 635,14		3.605,00	R\$	0,82	R\$ 2.969,64		0,75	P1	4.457,00	R\$	3.322,58	R\$ 282,20
SOLO0492HARD		3.065,29	R\$	0,91	R\$ 2.798,39		7.174,13	R\$	0,72	R\$ 5.176,50		0,72	P2	10.239,42	R\$	7.388,26	R\$ 586,63
SOLO0471HARD		1.234,29	R\$	0,96	R\$ 1.188,17		13.025,77	R\$	0,91	R\$ 11.844,58		0,91	P2	14.260,06	R\$	12.966,95	R\$ 65,81
SOLO1572SOFT		3.108,00	R\$	0,84	R\$ 2.608,60		14.425,00	R\$	0,72	R\$ 10.378,21		0,72	P2	17.533,00	R\$	12.614,30	R\$ 372,52
TUB04902SOFT		9.232,00	R\$	0,81	R\$ 7.502,90		474,00	R\$	1,15	R\$ 543,11		0,81	P1	9.706,00	R\$	7.888,12	R\$ 157,89
TUB07901SOFT		1.526,74	R\$	1,12	R\$ 1.716,20		2.237,57	R\$	1,13	R\$ 2.518,31		1,12	P1	3.764,31	R\$	4.231,43	R\$ 3,07
SOLO0651HARD		753,00	R\$	0,83	R\$ 621,31		88.372,00	R\$	0,51	R\$ 44.999,85		0,51	P2	89.125,00	R\$	45.383,28	R\$ 237,88
TUB01171HARD		951,00	R\$	3,03	R\$ 2.878,47		12.843,00	R\$	1,43	R\$ 18.406,79		1,43	P2	13.794,00	R\$	19.769,78	R\$ 1.515,49
SOLO1471SOFT		1.206,27	R\$	1,06	R\$ 1.272,84		8.481,81	R\$	0,51	R\$ 4.343,47		0,51	P2	9.688,07	R\$	4.961,18	R\$ 655,12
TUB07392HARD		1.267,00	R\$	1,45	R\$ 1.835,77		1.520,00	R\$	1,59	R\$ 2.421,47		1,45	P1	2.787,00	R\$	4.038,12	R\$ 219,12
TUB05922HARD		3.590,93	R\$	1,24	R\$ 4.436,94		1.983,54	R\$	2,26	R\$ 4.479,31		1,24	P1	5.574,47	R\$	6.887,80	R\$ 2.028,45
TUB08151SOFT		4.693,23	R\$	0,77	R\$ 3.631,57		14.948,21	R\$	0,95	R\$ 14.272,02		0,77	P1	19.641,44	R\$	15.198,32	R\$ 2.705,27
SOLO2881HARD		9.425,95	R\$	1,11	R\$ 10.465,17		3.812,49	R\$	1,33	R\$ 5.067,56		1,11	P1	13.238,43	R\$	14.697,99	R\$ 834,74
SOLO0801HARD		879,02	R\$	0,72	R\$ 632,49		15.400,80	R\$	0,71	R\$ 11.000,46		0,71	P2	16.279,82	R\$	11.628,32	R\$ 4,62
SOLO1711SOFT		5.365,20	R\$	0,83	R\$ 4.473,58		8.512,68	R\$	0,64	R\$ 5.466,26		0,64	P2	13.877,88	R\$	8.911,42	R\$ 1.028,42
TUB06012HARD		748,00	R\$	1,38	R\$ 1.031,17		2.672,00	R\$	1,31	R\$ 3.508,71		1,31	P2	3.420,00	R\$	4.490,94	R\$ 48,94
SOLO10621SOFT		2.420,60	R\$	0,86	R\$ 2.088,14		1.635,31	R\$	0,80	R\$ 1.310,44		0,80	P2	4.055,91	R\$	3.250,17	R\$ 148,41
SOLO0711HARD		3.180,25	R\$	0,83	R\$ 2.645,91		33.049,60	R\$	0,89	R\$ 29.382,91		0,83	P1	36.229,85	R\$	30.142,57	R\$ 1.886,25
SOLO2031HARD		534,00	R\$	0,77	R\$ 411,50		1.386,00	R\$	1,02	R\$ 1.411,91		0,77	P1	1.920,00	R\$	1.479,56	R\$ 343,86
TUB08112SOFT		2.800,57	R\$	0,81	R\$ 2.267,21		2.218,37	R\$	0,87	R\$ 1.925,41		0,81	P1	5.018,94	R\$	4.063,10	R\$ 129,52
SOLO3531HARD		1.004,07	R\$	0,75	R\$ 754,65		67.579,10	R\$	0,90	R\$ 60.914,37		0,75	P1	68.583,17	R\$	51.546,79	R\$ 10.122,23
TUB00511HARD		725,08	R\$	2,50	R\$ 1.810,48		1.458,67	R\$	2,19	R\$ 3.193,61		2,19	P2	2.183,75	R\$	4.781,09	R\$ 223,00

APENDICE A – Continuação

ITEM	VOLUME		CUSTO		VOLUME		CUSTO		MENOR CUSTO DE		TOTAL		VALOR TOTAL MENOR					
	PRODUZIDO	P1 (kg)	PRODUTIVIDADE	P1 (R\$/kg)	CUSTO TOTAL	PRODUZIDO P2 (kg)	PRODUTIVIDADE	P2 (R\$/kg)	CUSTO TOTAL P2	PRODUTIVIDADE	PRENS.	PRODUZIDO	CUSTO	DIFERENÇA				
SOL01491SOFT	1.161,72	R\$	0,84	R\$	971,17	10.895,74	R\$	0,67	R\$	7.268,35	R\$	0,67	P2	12.057,46	R\$	8.043,31	R\$	196,21
SOL03571SOFT	1.489,96	R\$	0,71	R\$	1.050,56	361,49	R\$	1,02	R\$	370,23	R\$	0,71	P1	1.851,45	R\$	1.305,44	R\$	115,35
SOL11422SOFT	1.345,00	R\$	1,13	R\$	1.515,63	6.201,00	R\$	0,68	R\$	4.246,80	R\$	0,68	P2	7.546,00	R\$	5.167,94	R\$	594,50
SOL01581HARD	308,00	R\$	1,17	R\$	359,93	1.010,00	R\$	1,57	R\$	1.587,05	R\$	1,17	P1	1.318,00	R\$	1.540,24	R\$	406,75
TUB070911SOFT	311,85	R\$	1,03	R\$	321,66	9.489,85	R\$	0,67	R\$	6.370,70	R\$	0,67	P2	9.801,70	R\$	6.580,05	R\$	112,31
TUB07581HARD	2.092,62	R\$	0,72	R\$	1.500,30	497,71	R\$	1,64	R\$	815,61	R\$	0,72	P1	2.590,34	R\$	1.857,13	R\$	458,78
TUB07922SOFT	2.106,75	R\$	0,83	R\$	1.754,24	1.161,45	R\$	1,23	R\$	1.429,43	R\$	0,83	P1	3.268,20	R\$	2.721,35	R\$	462,31
SOL01394SOFT	863,00	R\$	0,72	R\$	618,56	457,00	R\$	0,57	R\$	260,65	R\$	0,57	P2	1.320,00	R\$	752,86	R\$	126,35
SOL01491HARD	1.208,22	R\$	0,85	R\$	1.021,50	2.015,42	R\$	0,91	R\$	1.836,49	R\$	0,85	P1	3.223,64	R\$	2.725,47	R\$	132,52
TUB05182HARD	419,00	R\$	0,95	R\$	396,92	1.414,00	R\$	1,66	R\$	2.346,79	R\$	0,95	P1	1.833,00	R\$	1.736,40	R\$	1.007,31
SOL02861SOFT	296,80	R\$	0,52	R\$	153,41	2.590,96	R\$	0,61	R\$	1.587,90	R\$	0,52	P1	2.887,76	R\$	1.492,64	R\$	248,67
SOL01981HARD	379,24	R\$	1,00	R\$	377,58	1.768,91	R\$	0,85	R\$	1.497,21	R\$	0,85	P2	2.148,16	R\$	1.818,20	R\$	56,59
SOL01322SOFT	508,25	R\$	0,69	R\$	352,04	1.534,60	R\$	0,71	R\$	1.094,92	R\$	0,69	P1	2.042,85	R\$	1.414,98	R\$	31,98
SOL02812SOFT	15.557,19	R\$	0,63	R\$	9.836,34	1.656,96	R\$	0,89	R\$	1.475,63	R\$	0,63	P1	17.214,15	R\$	10.883,98	R\$	427,99
SOL00731HARD	344,00	R\$	1,30	R\$	448,01	22.985,00	R\$	0,49	R\$	11.157,53	R\$	0,49	P2	23.329,00	R\$	11.324,52	R\$	281,03
SOL01501HARD	354,69	R\$	0,97	R\$	344,56	2.018,95	R\$	0,86	R\$	1.728,43	R\$	0,86	P2	2.373,64	R\$	2.032,08	R\$	40,91
SOL01981SOFT	2.056,08	R\$	0,69	R\$	1.413,29	7.899,09	R\$	0,69	R\$	5.443,07	R\$	0,69	P1	9.955,17	R\$	6.842,88	R\$	13,47
SOL02822SOFT	14.718,38	R\$	0,55	R\$	8.085,71	4.140,35	R\$	0,73	R\$	3.015,37	R\$	0,55	P1	18.858,73	R\$	10.360,25	R\$	740,82
TUB05062HARD	1.045,15	R\$	1,47	R\$	1.536,05	413,63	R\$	1,58	R\$	651,80	R\$	1,47	P1	1.458,78	R\$	2.143,96	R\$	43,89
SOL01914SOFT	1.360,00	R\$	0,77	R\$	1.046,89	3.042,00	R\$	0,88	R\$	2.688,08	R\$	0,77	P1	4.402,00	R\$	3.388,53	R\$	346,44
TUB08031SOFT	1.355,72	R\$	0,65	R\$	882,67	1.158,82	R\$	0,77	R\$	892,97	R\$	0,65	P1	2.514,54	R\$	1.637,15	R\$	138,49
TUB07611SOFT	475,93	R\$	1,21	R\$	573,76	448,53	R\$	1,28	R\$	574,91	R\$	1,21	P1	924,46	R\$	1.114,48	R\$	34,18
SOL01451SOFT	1.424,00	R\$	0,75	R\$	1.063,91	2.646,00	R\$	0,67	R\$	1.762,94	R\$	0,67	P2	4.070,00	R\$	2.711,70	R\$	115,15
SOL11416SOFT	1.377,85	R\$	0,98	R\$	1.345,51	2.777,88	R\$	0,99	R\$	2.756,74	R\$	0,98	P1	4.155,73	R\$	4.058,20	R\$	44,06
SOL02504HARD	6.262,00	R\$	1,27	R\$	7.940,43	2.333,00	R\$	1,49	R\$	3.481,95	R\$	1,27	P1	8.595,00	R\$	10.898,75	R\$	523,63
TUB07901HARD	331,66	R\$	1,90	R\$	631,27	502,09	R\$	0,90	R\$	451,05	R\$	0,90	P2	833,75	R\$	748,99	R\$	333,32
SOL02551HARD	317,05	R\$	1,42	R\$	451,68	3.520,15	R\$	1,04	R\$	3.648,02	R\$	1,04	P2	3.837,20	R\$	3.976,58	R\$	123,11
SOL0052HARD	403,15	R\$	1,21	R\$	486,62	4.387,73	R\$	0,93	R\$	4.069,85	R\$	0,93	P2	4.790,88	R\$	4.443,80	R\$	112,68
SOL01392SOFT	3.213,42	R\$	0,68	R\$	2.200,91	2.636,02	R\$	1,06	R\$	2.792,52	R\$	0,68	P1	5.849,44	R\$	4.006,35	R\$	987,08
SOL03592SOFT	640,89	R\$	0,74	R\$	477,18	586,38	R\$	1,29	R\$	758,67	R\$	0,74	P1	1.227,26	R\$	913,78	R\$	322,07
SOL01801SOFT	332,68	R\$	1,19	R\$	396,22	2.179,91	R\$	1,01	R\$	2.199,12	R\$	1,01	P2	2.512,59	R\$	2.534,73	R\$	60,61
SOL00541HARD	336,38	R\$	0,45	R\$	150,41	18.036,73	R\$	0,53	R\$	9.599,49	R\$	0,45	P1	18.373,11	R\$	8.215,42	R\$	1.534,48
SOL00191SOFT	528,90	R\$	0,94	R\$	497,76	2.216,90	R\$	0,88	R\$	1.940,42	R\$	0,88	P2	2.745,79	R\$	2.403,36	R\$	34,82
SOL01631HARD	861,00	R\$	0,77	R\$	659,70	3.074,00	R\$	0,94	R\$	2.876,43	R\$	0,77	P1	3.935,00	R\$	3.014,99	R\$	521,13
TUB06562HARD	522,85	R\$	0,80	R\$	419,69	27.675,90	R\$	1,01	R\$	28.089,32	R\$	0,80	P1	28.198,75	R\$	22.635,01	R\$	5.873,99

APENDICE A – Continuação

ITEM	VOLUME		CUSTO		CUSTO		VOLUME		CUSTO		MENOR CUSTO DE		TOTAL		VALOR TOTAL MENOR		DIFERENÇA
	PRODUZIDO	P1 (kg)	PRODUZIVIDADE	P1 (R\$/kg)	CUSTO TOTAL	P1	PRODUZIDO	P2 (kg)	PRODUZIVIDADE	P2 (R\$/kg)	CUSTO TOTAL	P2	PRODUZIDO	P2	CUSTO	P2	
SOL11442SOFT	1.260,00	R\$	0,72	R\$	910,37	R\$	5.106,00	R\$	0,85	R\$	4.362,74	R\$	0,72	P1	6.366,00	R\$	673,56
SOL02842SOFT	2.711,00	R\$	0,58	R\$	1.569,70	R\$	1.285,00	R\$	0,73	R\$	933,84	R\$	0,58	P1	3.996,00	R\$	189,81
SOL02598HARD	2.120,15	R\$	1,12	R\$	2.377,76	R\$	373,70	R\$	1,51	R\$	565,24	R\$	1,12	P1	2.493,85	R\$	146,14
SOL10601SOFT	1.083,00	R\$	0,73	R\$	793,79	R\$	784,00	R\$	0,88	R\$	688,59	R\$	0,73	P1	1.867,00	R\$	113,96
TUB000521HARD	725,01	R\$	1,40	R\$	1.013,67	R\$	5.286,82	R\$	1,40	R\$	7.393,52	R\$	1,40	P1	6.011,82	R\$	1,72
SOL000512HARD	3.363,99	R\$	1,20	R\$	4.029,55	R\$	602,36	R\$	2,07	R\$	1.246,02	R\$	1,20	P1	3.966,35	R\$	524,48
TUB007331SOFT	389,49	R\$	0,54	R\$	211,34	R\$	4.533,69	R\$	0,77	R\$	3.505,02	R\$	0,54	P1	4.923,17	R\$	1.045,02
SOL000994HARD	1.220,61	R\$	0,82	R\$	1.001,06	R\$	1.194,83	R\$	0,96	R\$	1.141,12	R\$	0,82	P1	2.415,44	R\$	161,21
TUB005161SOFT	1.404,08	R\$	0,68	R\$	960,12	R\$	622,84	R\$	1,40	R\$	871,83	R\$	0,68	P1	2.026,92	R\$	445,93
TUB007822HARD	975,78	R\$	1,14	R\$	1.109,41	R\$	1.626,15	R\$	0,94	R\$	1.535,28	R\$	0,94	P2	2.601,93	R\$	188,15
TUB007382SOFT	13.313,00	R\$	0,88	R\$	11.655,02	R\$	4.309,00	R\$	0,97	R\$	4.168,81	R\$	0,88	P1	17.622,00	R\$	396,45
SOL001621HARD	286,46	R\$	0,89	R\$	254,04	R\$	668,40	R\$	0,88	R\$	585,50	R\$	0,88	P2	954,86	R\$	3,11
SOL000764HARD	1.979,00	R\$	0,77	R\$	1.527,77	R\$	1.228,00	R\$	0,96	R\$	1.181,88	R\$	0,77	P1	3.207,00	R\$	233,87
TUB007941SOFT	351,68	R\$	0,69	R\$	243,28	R\$	5.682,23	R\$	0,74	R\$	4.230,87	R\$	0,69	P1	6.033,91	R\$	300,19
TUB040931SOFT	2.234,00	R\$	0,89	R\$	1.982,28	R\$	1.472,00	R\$	1,07	R\$	1.579,28	R\$	0,89	P1	3.706,00	R\$	273,14
TUB007822SOFT	2.430,69	R\$	0,66	R\$	1.593,99	R\$	1.663,91	R\$	0,95	R\$	1.576,59	R\$	0,66	P1	4.094,60	R\$	485,43
TUB007861SOFT	2.932,76	R\$	0,85	R\$	2.495,70	R\$	9.801,76	R\$	1,07	R\$	10.525,18	R\$	0,85	P1	12.734,51	R\$	2.184,15
SOL02911SOFT	1.742,05	R\$	0,63	R\$	1.094,17	R\$	711,93	R\$	0,84	R\$	600,76	R\$	0,63	P1	2.453,98	R\$	153,60
SOL01461HARD	615,00	R\$	0,84	R\$	515,22	R\$	2.606,00	R\$	0,82	R\$	2.146,31	R\$	0,82	P2	3.221,00	R\$	8,70
SOL01402SOFT	361,75	R\$	0,61	R\$	221,88	R\$	5.709,12	R\$	0,62	R\$	3.560,54	R\$	0,61	P1	6.070,87	R\$	58,81
SOL01581SOFT	3.490,59	R\$	0,82	R\$	2.848,31	R\$	1.761,56	R\$	1,08	R\$	1.901,54	R\$	0,82	P1	5.252,15	R\$	464,11
TUB006981SOFT	4.210,81	R\$	1,00	R\$	4.220,49	R\$	4.048,76	R\$	1,03	R\$	4.165,66	R\$	1,00	P1	8.259,57	R\$	107,59
TUB02221SOFT	1.200,41	R\$	0,80	R\$	954,66	R\$	2.118,88	R\$	0,98	R\$	2.083,55	R\$	0,80	P1	3.319,28	R\$	398,45
TUB08222SOFT	698,81	R\$	0,90	R\$	629,13	R\$	361,86	R\$	0,84	R\$	303,61	R\$	0,84	P2	1.060,68	R\$	42,82
SOL01711HARD	719,00	R\$	0,77	R\$	555,02	R\$	1.142,00	R\$	0,84	R\$	958,24	R\$	0,77	P1	1.861,00	R\$	76,70
SOL01451HARD	614,29	R\$	1,02	R\$	628,11	R\$	1.762,28	R\$	0,94	R\$	1.649,64	R\$	0,94	P2	2.376,56	R\$	53,09
TUB007501SOFT	2.339,00	R\$	0,72	R\$	1.682,02	R\$	291,00	R\$	1,06	R\$	308,74	R\$	0,72	P1	2.630,00	R\$	99,48
SOL01931SOFT	316,00	R\$	0,65	R\$	204,09	R\$	617,00	R\$	0,70	R\$	431,84	R\$	0,65	P1	933,00	R\$	33,35
TUB006514HARD	2.622,96	R\$	1,42	R\$	3.723,19	R\$	3.432,12	R\$	1,35	R\$	4.622,69	R\$	1,35	P2	6.055,08	R\$	190,36
SOL01822HARD	673,96	R\$	0,98	R\$	660,74	R\$	672,77	R\$	1,11	R\$	749,56	R\$	0,98	P1	1.346,74	R\$	89,99
SOL01691SOFT	1.148,00	R\$	0,58	R\$	666,91	R\$	2.292,00	R\$	0,60	R\$	1.363,83	R\$	0,58	P1	3.440,00	R\$	32,33
SOL01382SOFT	7.781,00	R\$	1,03	R\$	8.020,30	R\$	1.555,00	R\$	1,67	R\$	2.589,78	R\$	1,03	P1	9.336,00	R\$	986,96
SOL02606HARD	3.714,00	R\$	0,91	R\$	3.372,34	R\$	2.480,00	R\$	0,81	R\$	2.009,31	R\$	0,81	P2	6.194,00	R\$	363,24
TUB02621SOFT	401,09	R\$	0,90	R\$	360,99	R\$	4.391,25	R\$	1,02	R\$	4.476,50	R\$	0,90	P1	4.792,34	R\$	524,33
SOL00763HARD	2.835,00	R\$	0,82	R\$	2.320,09	R\$	3.020,00	R\$	1,28	R\$	3.871,89	R\$	0,82	P1	5.855,00	R\$	1.400,40
Total	288.140,79				R\$ 237.405,61		899.567,80				R\$ 765.545,38				R\$ 1.187.708,59		R\$ 111.568,81