

3

Estudo de caso: um processo de laminação a frio

Neste capítulo é apresentado um estudo de caso em um processo de laminação a frio que produz chapas para a confecção de latas de bebidas. Trata-se de um experimento realizado na Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) e descrito detalhadamente em Gomes (2007).

Inicialmente é feita uma breve descrição das etapas do processo de fabricação de latas de duas peças utilizando aço. Além disso, é realizada uma descrição do processo produtivo do setor de laminação a frio, visando proporcionar uma melhor compreensão das principais variáveis envolvidas nesse processo. Em seguida são apresentadas as variáveis controláveis do processo de laminação assim como os sistemas de controle da espessura das latas. E, por fim, é apresentado o experimento fatorial que foi realizado, assim como seus problemas de aleatorização.

3.1

O processo de fabricação de latas de duas peças

O desenvolvimento do processo de produção de latas de duas peças iniciou-se nos Estados Unidos, na década de 50, com a criação da primeira prensa formadora do corpo da lata em uma só peça. Esse advento permitiu a produção de latas pelo processo de estampo e estiramento. Tal processo de produção é contínuo e totalmente automatizado, composto por 19 etapas (CSN, 2009). A seguir são apresentadas as etapas do processo de fabricação da lata de duas peças e um breve resumo de cada etapa.

1. Alimentação da bobina:

Nesta primeira etapa, a bobina de aço DWI (*Draw & Wall Ironing*), é removida da área de estocagem e transportada para o início do processo de produção.

2. Corte e estampagem do copo

O ciclo de formação do copo inicia-se com o corte de um disco circular. O equipamento, computadorizado, corta a chapa em vários discos dando-lhes a forma de um copo. O aço, nesse estágio, ainda tem a espessura da lâmina original.

3. Estampagem da lata e formação do fundo

Os copos seguem para uma prensa onde suas paredes externas são submetidas a uma grande pressão, tendo a sua espessura afinada para então serem esticadas para formar o corpo da lata.

4. Corte do excedente

Depois de formar o corpo da lata, as bordas superiores são aparadas para que todos os corpos fiquem com a mesma altura.

5. Lavagem e secagem

A lata deve ser limpa e preparada para a impressão. O objetivo da limpeza é remover o óleo de fabricação, preparando a sua superfície para uma melhor aderência da tinta de impressão e dos revestimentos.

6. Revestimento externo

A pintura de base recebe as latas limpas e secas e aplica um revestimento, usualmente de cor branca opaca, podendo ser transparente ou aluminizado, na parte externa da lata, cujo objetivo é proteger e melhorar a aparência da lata, uma vez que serve como base para as camadas de decoração.

7. Secagem de camada

A cura do revestimento se dá através do tempo adequado de residência à temperatura dentro do forno de secagem. A lata é descarregada passando por uma zona de resfriamento. Após isso, as latas são encaminhadas para a seção de decoração.

8. Decoração

A decoradora recebe a lata com o revestimento de base devidamente curado e tem por objetivo aplicar o rótulo, de acordo com a arte gráfica criada para o produto.

9. Cura da decoração

A cura do revestimento se dá através do tempo adequado de residência à temperatura dentro do forno, que possui três zonas: duas de aquecimento e uma de resfriamento.

10. Revestimento interno - 1º passo

As latas recebem jatos de spray especial para formar uma película de proteção extra. Depois, seguem para um forno de secagem.

11. Cura do verniz - 1º passo

Após a aplicação, as latas são encaminhadas para o forno de cura do revestimento interno que dispõe de três zonas quentes para cura e uma zona de resfriamento.

12. Formação do pescoço e flange

A formação do pescoço e do perfil da borda da lata consiste no arredondamento da borda superior da lata, operação necessária para permitir o processo de encaixe da tampa com a lata, a ser realizado após o enchimento, nas instalações dos clientes.

13. Teste de defeitos

As latas são então encaminhadas para o equipamento de testes que visa detectar possíveis defeitos. Todas as latas passam por esta avaliação. O lado externo da lata é submetido a um sistema de emissão de luz fluorescente.

14. Revestimento do fundo

Os aplicadores de verniz de fundo recebem as latas decoradas, já com pescoço e flange, e aplicam um revestimento protetor no fundo das latas.

15. Revestimento interno - 2º passo

Para atribuir à embalagem uma proteção interna adequada, aplica-se uma segunda camada de verniz.

16. Cura do verniz - 2º passo

Após a aplicação do verniz, as latas são encaminhadas para o forno de cura do revestimento interno, dispondo de três zonas quentes para cura e uma zona de resfriamento.

17. Aplicação do verniz por cura ultravioleta

Um novo sistema de aplicação de verniz ultravioleta, para proteção externa contra a corrosão na base da lata, é utilizado. Este sistema garante à embalagem uma proteção superior à dos processos convencionais.

18. Inspeção de câmeras

Dois equipamentos de inspeção digital por imagem fazem a verificação interna e externa final em todas as latas, avaliando possíveis deformações mecânicas, contaminações, falhas na aplicação do verniz interno e defeitos de impressão nos rótulos.

19. Paletes

Depois de prontas e inspecionadas, as latas são embaladas para armazenagem e transporte, acondicionadas em embalagens conhecidas como paletes.

Como se pode notar, existe um longo processo para se chegar ao produto final. Para que esse processo de fabricação das latas de duas peças tenha sucesso, é necessário que o material utilizado na Etapa 1 esteja dentro das especificações em relação à espessura, pois caso contrário, as demais etapas do processo estariam comprometidas. Isso ocorre devido ao percentual de redução da parede da lata, na Etapa 3, que é bastante considerável, o que exige do produto uma severa uniformidade dimensional. Dessa forma, o controle da espessura do material é crucial para as etapas do processo de fabricação da lata.

Segundo Gomes (2007) as latas de duas peças, em aço, eram inicialmente fabricadas com espessura de 0,276 mm, e tolerância de 1,8%, mas após alguns anos de atendimento aos clientes, os fabricantes concluíram que era preciso reduzir a espessura da lata. Tal redução tornaria o produto mais leve, comparado ao peso das latas em alumínio, o que resultaria em um produto, em aço, mais competitivo. A espessura proposta foi a de 0,248 mm com tolerância inferior a 1% na variação da espessura.

Como mencionado anteriormente, é importante o controle da espessura do material produzido, uma vez que as deformações sofridas no processo de fabricação mostraram que variações de espessuras comprometiam a fabricação do produto. Os problemas apresentados em materiais com variação de espessura são notados da seguinte forma:

- Caso o material esteja com espessura abaixo do mínimo de especificação, a parede da lata fica com altura menor que o necessário para o corte, desqualificando a lata;
- Caso a chapa apresente espessura acima do limite máximo de especificação, observa-se a formação de uma parede muito alta, havendo o travamento da linha;
- Variações bruscas de espessura, para mais e para menos em relação ao valor nominal, podem provocar um lado da lata com sobra e o outro lado com falta de material, desqualificando a lata.

Devido à redução da espessura, sofrida no estiramento (etapa de formação do fundo e do corpo da lata) e à importância de seu controle, foram desenvolvidos laminadores de tiras a frio com maior precisão de espessura, baseados em processos de controle automático. Nas seções seguintes é apresentado o processo de laminação a frio e suas principais características.

3.2

O processo de laminação a frio

O processo de laminação a frio é utilizado na indústria com o objetivo de reduzir a espessura do material trabalhado. Em outras palavras, tal processo atua na forma do material, para que seja atingido o nível de tolerância especificado junto aos clientes. Para este fim, há a necessidade de atuação de agentes mecânicos externos, tais como os cilindros de laminação em movimento de rotação, acionados pelo conjunto de motores, e caixas de transmissão, que geram energia suficiente para causar a deformação do material que está sendo laminado, como apresentados na Ilustração 1 (Gomes, 2007).

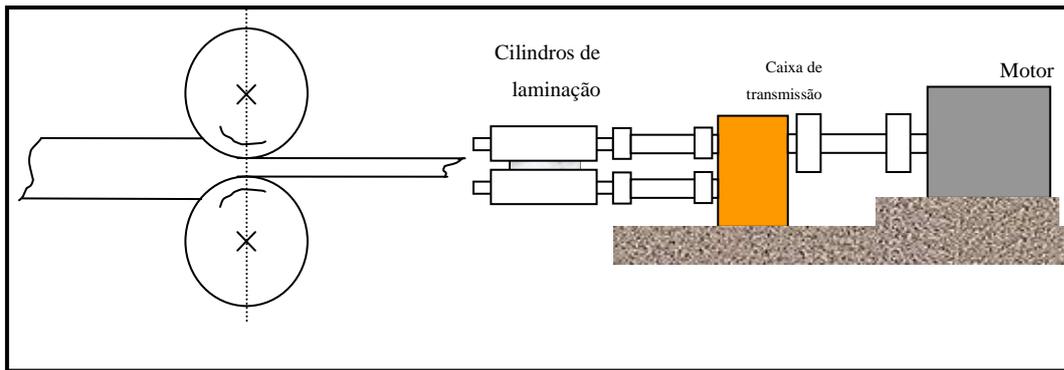


Ilustração 1– Sistema de acionamento de um laminador a frio.

Fonte: Adaptado de Gomes (2007)

Como um processo posterior à etapa de laminação a quente, a unidade de laminação a frio reduz a espessura das chapas laminadas anteriormente, conferindo-lhes melhor qualidade e características mecânicas adequadas ao seu uso. Com esse processo, podem-se obter chapas com espessuras menores e com superfície brilhante e uniforme. Este processo de deformação plástica é uma combinação de fatores como: compressão, velocidade, tensão, coeficiente de atrito, dentre outros.

Na Ilustração 2 é apresentada a representação esquemática de um laminador de a frio.

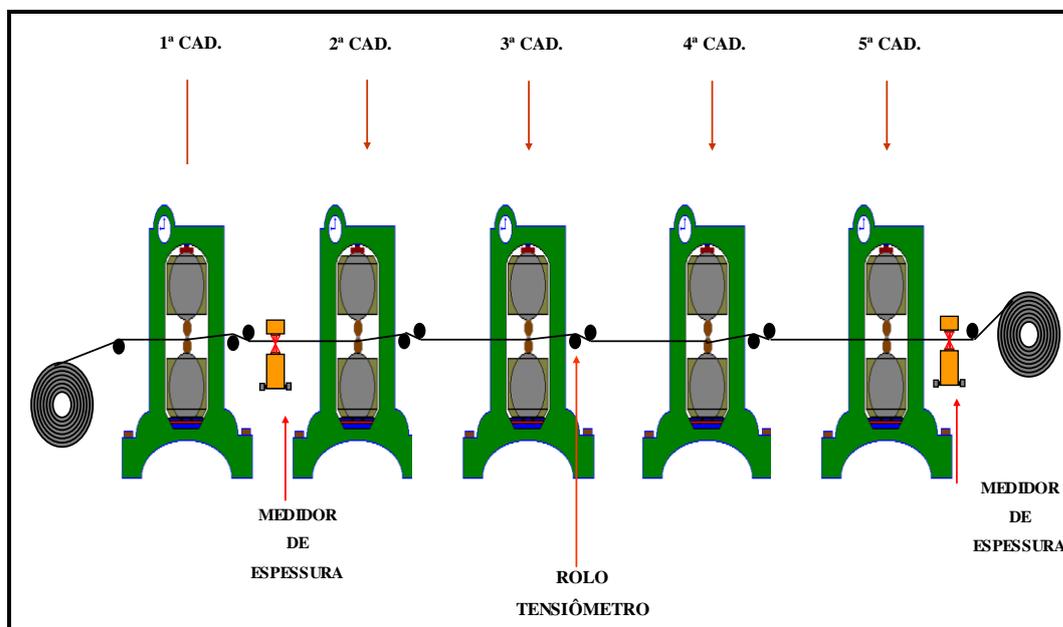


Ilustração 2 - Trem de laminação de um laminador de tiras a frio.

Fonte: Adaptado de Gomes (2007)

Observa-se uma seqüência de cinco cadeiras, onde a cada passe a espessura vai sendo reduzida até o seu valor final na saída da última cadeira (Cadeira 5). Todo processo de redução da espessura é feito pela combinação de esforços de compressão e tração, simultaneamente. Os esforços de compressão são aplicados através de cilindros, e os esforços de tração são realizados pela diferença de velocidades entre passes de laminação, sendo medidos por rolos tensores. Na saída das Cadeiras 1 e 5, medidores de espessura, por feixe de raio X, garantem a informação do desvio da espessura à malha de controle, sendo que um controlador atua de forma a minimizar o desvio da espessura objetivada.

Abordaremos a seguir a forma de ajuste das principais variáveis controláveis na laminação e seus efeitos no principal quesito de qualidade, que é a espessura final do produto.

3.3

Variáveis Controláveis no Processo de Laminação

Como mencionado anteriormente, o processo de laminação a frio tem como objetivo reduzir a espessura do material dentro da tolerância especificada junto aos clientes. As informações de dimensão do material, como espessura de entrada, espessura de saída e largura, são fundamentais para os cálculos dos valores preestabelecidos para as variáveis controláveis do processo de laminação, cujo ajuste adequado proporcionará maior estabilidade ao processo, implicando em menor variabilidade. Para melhor entendimento, abordaremos a seguir cada uma das variáveis controláveis do processo de laminação (Gomes, 2007).

A) Redução

A redução na espessura do material é considerada uma das principais variáveis controláveis do processo. Sendo assim, um ajuste adequado nas reduções, por passe de laminação, pode resultar em menores variações no processo.

B) Tensão entre passes

A tensão entre passes de laminação, durante o processo, é definida a partir das dimensões do material. Com a espessura e a largura do material é possível definir os valores de tensão entre passes. Todo ajuste de tensão é realizado em função da força aplicada no material por meio dos cilindros de trabalho. O ajuste de tensão é importante para evitar valores que possam levar à ruptura do material no momento do estiramento. Os valores usualmente praticados não ultrapassam 70% do limite de resistência do material.

C) Força de laminação

A força de laminação é determinante na forma do produto. Uma força excessiva pode ocasionar defeitos de planicidade. A região que apresenta o defeito tem menor espessura. Este fato é atribuído ao maior alongamento. Esta situação é crítica quando da utilização do produto pelo cliente, principalmente nos casos onde os esforços para chegar ao produto final são grandes, como é o caso do aço para lata de duas peças. A questão crucial é saber qual o valor ideal de força que não comprometa o produto sendo laminado.

D) Dimensões dos Cilindros de Laminação

Por estarem em contato direto com a tira sendo laminada, os cilindros de laminação são considerados como as ferramentas mais importantes do processo. Suas características dimensionais são fatores críticos para melhorar a estabilidade do processo. Dentre estas merece destaque o diâmetros dos cilindros de trabalho, já que este tem grande influência na variação da espessura.

E) Sistema de Controle da Espessura

O processo de laminação tem como princípio o fluxo de massa constante. Em laminadores modernos, com elevado nível de automação, todo controle da espessura é baseada no fluxo de massa. O sistema utilizado para controlar a espessura é dotado de sensores a laser que medem a velocidade da tira entre passes de laminação. Neste sistema é possível acelerar ou desacelerar individualmente uma determinada cadeira de laminação. Os controles mais usuais atuam basicamente na cadeira 1 pelo ajuste da distância entre cilindros, e na velocidade das cadeiras 1, 2, 3 e 4. Para melhor entendimento, abordaremos alguns desses controladores.

Função Feedback 1

Ao observar a Ilustração 2, nota-se a presença de um medidor de espessura do material após o primeiro passe de laminação. O controlador, Feedback 1, interfere no processo de laminação em tempo real. Para isso, é utilizado um instrumento medidor de espessura, que possui, para medição, um sistema de feixes de Raios X. Sua medição e velocidade de resposta são bastante elevadas (10 milissegundos), o que torna a função Feedback 1 altamente precisa. Sua lógica baseia-se na medição do desvio da espessura em relação ao valor-alvo na saída da Cadeira 1. Se a espessura da matéria prima que é conhecida sofre uma variação positiva (acima da espessura nominal), o desvio em relação ao valor-alvo é observado e uma maior carga é aplicada ao material. No caso oposto (desvio negativo), o desvio em relação ao valor alvo leva a reduzir a carga aplicada ao material.

Função Feedforward

Reportando-nos novamente ao medidor de espessura do material após o primeiro passe de laminação, existe também a função Feedforward, cuja lógica da operação é baseada no ajuste da espessura por estiramento. Uma vez que a espessura tenha uma variação positiva em relação ao valor-alvo, o controle atua reduzindo a velocidade da Cadeira 1 e mantendo a Cadeira 2 na mesma velocidade. Tal situação leva ao estiramento do material, reduzindo o desvio positivo. No caso de desvio negativo, o sistema acelera a Cadeira 1 mantendo a Cadeira 2 na mesma velocidade; neste caso maior quantidade de massa estará em fluxo, reduzindo o efeito do estiramento de modo a possibilitar o retorno da espessura ao valor-alvo.

Função Feedback 2

Ainda na Ilustração 2, temos um medidor de espessura na saída da Cadeira 5. Tal medidor utiliza como controlador a função Feedback 2. O princípio de funcionamento da função Feedback 2 é semelhante ao da função Feedforward. Porém, na função Feedback 2, o sistema atua na velocidade das Cadeiras 1, 2, 3 e 4, mantendo a velocidade da 5ª cadeira constante. Ou seja, na função Feedback 2,

o controle segue a mesma lógica de operação, que é baseada no ajuste da espessura por estiramento. Uma vez que a espessura tenha uma variação positiva em relação ao valor-alvo, o controle atua reduzindo a velocidade das Cadeiras 1, 2, 3, e 4, mantendo a Cadeira 5 na mesma velocidade. Tal situação leva ao estiramento do material, reduzindo o desvio positivo. No caso de desvio negativo, o sistema acelera as Cadeiras 1, 2, 3 e 4, mantendo a Cadeira 5 na mesma velocidade. Neste caso, maior quantidade de massa estará em fluxo, reduzindo o efeito do estiramento e assim possibilitando o retorno ao valor-alvo.

3.4

O experimento realizado no processo de laminação

Com o objetivo de modelar a média e a variância da espessura do material utilizado na fabricação de latas de aço de duas peças, para que tal espessura atingisse o valor desejado (0,248 mm) com o mínimo de variação possível, foi realizado por Gomes (2007) um experimento para mensurar a espessura do material a partir de variações dos níveis de algumas variáveis (fatores) presentes no processo (Gomes, 2007). Conhecer os fatores do processo de laminação que afetam diretamente a espessura do material é fundamental para reduzir sua variação, garantindo que o produto esteja dentro das especificações. Dessa forma, o objetivo do experimento é verificar quais são os fatores de controle do processo de laminação que afetam a espessura do material. Além de identificar quais fatores têm efeito mais significativo, é necessário estabelecer uma faixa ótima de trabalho para eles. Dessa forma, ao estabelecer os intervalos sobre os quais esses fatores irão variar, é possível tornar o processo robusto, mesmo nas ocasiões onde ocorram oscilações em tais variáveis.

Na etapa de seleção dos fatores e de seus níveis, foi de fundamental importância a participação de todos que conheciam o processo, em especial os operadores, uma vez que são eles que vivenciam diariamente os problemas do equipamento, da matéria-prima e do produto acabado. A definição dos fatores, e de seus níveis, foi realizada após várias reuniões com operadores, técnicos e engenheiros (Gomes, 2007). Optou-se por trabalhar com apenas dois níveis,

classificados como alto e baixo, para cada variável. A seguir são apresentadas os fatores selecionados, e os níveis considerados na realização do experimento.

Fator A: Redução da cadeira 1

A seleção desta variável está associada à característica da Cadeira 1 do equipamento. Sua configuração com seis cilindros permite altas taxas de redução, o que pode influenciar na variação de espessura do produto final. Os valores considerados, com relação aos níveis ‘alto’ e ‘baixo’, foram 38% e 33%, de redução em cada passe, respectivamente.

Fator B: Redução da cadeira 5

Como apresentado na Figura 3.2, a Cadeira 5 representa o último passe de laminação. Dessa forma, qualquer oscilação nesta etapa impacta fortemente a qualidade do produto final. Além disso, a Cadeira 5 não sofre interferência direta do controlador através da função Feedback 2, não podendo ter suas oscilações corrigidas. Sendo assim, a escolha desta variável se justifica uma vez que qualquer flutuação na redução de tal cadeira poderia causar eventuais distúrbios na espessura de saída. Os valores dos níveis, ‘alto’ e ‘baixo’, foram de 33% e 30%, respectivamente.

Fator C: Tensão de estiramento entre as cadeiras 4 e 5

Experiências anteriores mostraram que a tensão de estiramento entre o 4º e 5º passe de laminação influencia diretamente na espessura do material (Gomes, 2007). Além disso, a tensão de estiramento entre as cadeiras 4 e 5 sofre influência do controlador através da função Feedback 2, uma vez que oscilações no estiramento são provocadas pela diferença de velocidade entre as referidas cadeiras. Para a execução do experimento, foram definidos os valores de 8,5t para o nível alto, e 7t para o nível baixo desse fator.

Fator D: Diâmetro do cilindro de trabalho da cadeira 1

Com base nas observações realizadas pelos operadores, e confirmadas por testes realizados, foi incluída a variável diâmetro de cilindro de trabalho no experimento. Considerando que o equipamento trabalha com faixas bem definidas para cada cadeira de laminação, e que, no caso da cadeira 1 os diâmetros estão

entre 415 mm e 419 mm, optou-se por não escolher valores limítrofes. Dessa forma, foram escolhidos os diâmetros de 424 mm e 442 mm para os níveis baixo e alto, respectivamente.

Fator E: Ganho do controlador

Perturbações nas tensões entre passes de laminação podem levar a variações na espessura final do produto. Para corrigir esse problema existem os controladores. No controlador há funções que atuam no estiramento entre passes. A primeira é a função Feedforward, atuando no estiramento da tensão entre as cadeiras 1 e 2, e a segunda é a função Feedback 2, que atua no estiramento entre as cadeiras 4 e 5. No planejamento do experimento, a variável escolhida foi a função Feedforward. Sua escolha se justifica pela avaliação que se deseja obter desta variável na espessura de saída da Cadeira 1, uma vez que oscilações nesta cadeira influenciam o resultado final da variável reposta. O ajuste do ganho desta função pode levar a grandes perturbações se for executado de forma inadequada, gerando grande variação que se propaga até a saída da cadeira 5. Os valores atribuídos para os níveis, 'alto' e 'baixo', foram definidos em 100 e 50, respectivamente.

Têm-se então cinco fatores (A, B, C, D e E) com dois níveis cada. Sendo assim, o experimento é construído a partir do experimento padrão para quatro fatores (A, B, C, e D), fazendo-se o quinto fator $E = ABCD$. Com isso, ocorre uma economia de recursos, dado que o número de rodadas é reduzido de 32 (2^5) para 16 (2^{5-1}). Na Tabela 1 é apresentado o experimento.

Tabela 1 - Experimento 2⁵⁻¹

Rodada	A	B	C	D	E
1	38%	33%	8,5t	442mm	100
2	33%	33%	8,5t	442mm	50
3	38%	30%	8,5t	442mm	50
4	33%	30%	8,5t	442mm	100
5	38%	33%	7,0t	442mm	50
6	33%	33%	7,0t	442mm	100
7	38%	30%	7,0t	442mm	100
8	33%	30%	7,0t	442mm	50
9	38%	33%	8,5t	424mm	50
10	33%	33%	8,5t	424mm	100
11	38%	30%	8,5t	424mm	100
12	33%	30%	8,5t	424mm	50
13	38%	33%	7,0t	424mm	100
14	33%	33%	7,0t	424mm	50
15	38%	30%	7,0t	424mm	50
16	33%	30%	7,0t	424mm	100

Foram utilizados valores codificados para as categorias dos fatores. Para o valor alto, de cada fator, foi adotado +1, e para o valor baixo, -1, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Experimento com variáveis codificadas

Rodada	A	B	C	D	E
1	1	1	1	1	1
2	-1	1	1	1	-1
3	1	-1	1	1	-1
4	-1	-1	1	1	1
5	1	1	-1	1	-1
6	-1	1	-1	1	1
7	1	-1	-1	1	1
8	-1	-1	-1	1	-1
9	1	1	1	-1	-1
10	-1	1	1	-1	1
11	1	-1	1	-1	1
12	-1	-1	1	-1	-1
13	1	1	-1	-1	1
14	-1	1	-1	-1	-1
15	1	-1	-1	-1	-1
16	-1	-1	-1	-1	1

3.5

Realização do experimento

Para a realização do experimento, contendo 16 combinações de níveis dos fatores, foram utilizadas quatro bobinas para cada combinação de níveis dos fatores, totalizando, assim, 64 bobinas. Nesse processo foram obtidas, em média, para cada bobina, 743 observações da espessura. Tais observações geraram a média e a variância da espessura para cada uma das 64 bobinas utilizadas no experimento.

A aquisição dos dados foi feita por intermédio de um computador que recebeu os sinais referentes aos valores da espessura do material resultante do experimento. Na Tabela 3 são apresentados os resultados do experimento.

Tabela 3 – Resultados do Experimento

Rodada	Replicação da Média				Replicação da Variância			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1	0,24791	0,24790	0,24795	0,24789	9,570E-08	1,377E-07	1,813E-07	1,803E-07
2	0,24792	0,24800	0,24790	0,24791	4,596E-07	1,260E-06	8,052E-08	8,374E-07
3	0,24754	0,24767	0,24798	0,24794	6,157E-07	3,835E-07	3,302E-07	5,109E-07
4	0,24789	0,24789	0,24742	0,24783	3,007E-07	1,309E-07	1,516E-06	2,266E-07
5	0,24794	0,24792	0,24793	0,24735	8,553E-08	6,680E-07	2,784E-07	1,222E-06
6	0,24791	0,24786	0,24744	0,24783	4,953E-07	1,806E-07	1,333E-06	6,457E-07
7	0,24782	0,24790	0,24778	0,24791	2,520E-07	7,678E-08	2,384E-07	1,384E-07
8	0,24785	0,24787	0,24774	0,24774	1,543E-06	1,197E-06	1,141E-06	8,351E-07
9	0,24767	0,24722	0,24705	0,24706	2,133E-06	1,312E-06	7,057E-07	1,327E-06
10	0,24766	0,24709	0,24774	0,24741	2,695E-07	7,981E-08	9,593E-07	7,984E-07
11	0,24870	0,24902	0,24707	0,24801	5,021E-07	9,092E-07	2,743E-07	1,681E-07
12	0,24863	0,24832	0,24720	0,24757	3,387E-07	3,549E-07	3,003E-07	4,028E-07
13	0,24583	0,24761	0,24772	0,24785	8,451E-07	4,363E-07	7,462E-07	3,623E-06
14	0,24791	0,24619	0,24800	0,24751	3,151E-06	2,858E-06	3,317E-07	2,429E-07
15	0,24755	0,24764	0,24659	0,24820	5,437E-06	5,718E-07	1,735E-07	1,344E-07
16	0,24712	0,24710	0,24777	0,24727	5,308E-07	4,260E-07	1,297E-06	1,434E-07

Vale destacar que no experimento, apresentado em Gomes (2007), os níveis de cada um dos cinco fatores selecionados não foram reinicializados antes de cada replicação. E sabe-se que a reinicialização dos níveis dos fatores é fundamental para garantir a completa aleatorização do processo. Além disso, não

houve aleatorização na ordem de seleção dos níveis dos fatores, a cada corrida do experimento, ou seja, não houve aleatorização durante as corridas. Dessa forma, tal desenho apresenta um problema de restrição na aleatorização.

Neste capítulo foi apresentado o processo de fabricação das latas de duas peças, em aço, e o resultado do experimento realizado por Gomes (2007) no processo de laminação a frio, com o objetivo de observar o resultado da espessura do material utilizado na fabricação das latas, com base na variação dos níveis das variáveis controláveis durante o processo de laminação. Tais variáveis foram mencionadas neste capítulo. No próximo capítulo será apresentada a análise dos resultados, com base na aplicação de modelos mistos para a modelagem da média e da variância da espessura do material utilizado na fabricação das latas de duas peças, em um desenho com problema de restrição na aleatorização.