ConBRepro
XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
EVENTO ON-LINE
01 a 03 de dezembro 2021

Processo de conformação mecânica por laminação: um estudo sobre as principais características desse processo, sob o enfoque do sistema de produção em massa

Amanda Fernandes Cruz
DECEA - Universidade Federal de Ouro Preto
Caroline Aparecida Mendes
DECEA - Universidade Federal de Ouro Preto
Patrícia Aparecida Lage Alves
DECEA - Universidade Federal de Ouro Preto
Vitória das Graças Ferreira
DECEA - Universidade Federal de Ouro Preto

Resumo: O processo de conformação mecânica por laminação trata-se de um processo em que se faz o material passar através da abertura entre cilindros que giram, de modo a reduzir a seção transversal, gerando produtos, tais como: trilhos, chapas, anéis e tubos. Neste sentido, trata-se de um processo de transformação mecânica em que modifica-se a geometria e as dimensões de um corpo metálico pela passagem entre dois cilindros laminadores. Sob esse prisma, o presente estudo pretende elucidar tal processo de conformação mecânica, sob o viés das principais características do processo desse tipo de conformação. Para tanto, utilizou-se o método de pesquisa exploratória, com o intuito de permitir a familiarização com o tema. Partindo-se de uma revisão bibliográfica composta pelos principais autores da área, o objetivo é compreender com mais afinco a teoria e as formas de aplicação. Os resultados obtidos evidenciam que foi possível destacar as principais características, além de classificar a laminação quanto a produção (em massa), e, de modo geral, contribuiu para a compreensão da técnica da laminação.

Palavras-chave: Conformação mecânica, Laminação, principais características.

Lamination mechanical forming process: A study of the main characteristics of this process

Abstract : The process of mechanical forming by lamination is a process in which the material is made to pass through the opening between rotating cylinders, in order to reduce the cross section, generating products such as: rails, plates, rings and tubes. In this sense, it is a process of mechanical transformation in which the geometry and dimensions of a metallic body are modified by passing between two rolling cylinders. From this perspective, the present study intends to elucidate this process of mechanical conformation, under the bias of the stages of the process of this type of conformation. For that, the exploratory research method was used, in order to allow familiarization with the subject. Starting from a bibliographical review composed by the main authors in the area, the objective is to understand the theory and the forms of application more thoroughly. The results obtained show that it was possible to highlight as main characteristics, in

addition to classifying the lamination in terms of production (mass), and, in general, it contributed to the understanding of the lamination technique.

Key Words: Mechanical forming, Lamination, main features.

1. Introdução

No que tange aos processos de conformação mecânica, vale destacar que a laminação, conforme Groover (2014), trata-se de um processo no qual a espessura do metal é reduzida por esforços compressivos exercidos por meio de dois cilindros, os quais giram para puxar e, ao mesmo tempo, comprimir o metal que está compreendido entre eles.

Neste sentido, o processo de laminação permite obter modificações na seção transversal de um metal em forma de barra, lingote, placa ou tira, passando-o por dois ou mais cilindros. A distância entre os cilindros deve ser menor do que a espessura do material que será laminado. Assim, tal processo consiste em modificar a seção transversal de um metal pela passagem entre dois cilindros com geratriz retilínea ou contendo canais entalhados de forma mais ou menos complexa, sendo que a distância entre os dois cilindros deve ser menor que a espessura inicial da peça metálica.

Além disso, a laminação nunca é realizada em uma única etapa: o metal deve ser passado diversas vezes pelo laminador, a fim de que o perfil ou a chapa adquira o formato ou a espessura desejada. A deformação plástica ocorre por meio da aplicação de alta pressão.

Santos (2018) afirma que esse processo de fabricação possui duas finalidades: obter a forma desejada para o bloco de metal e melhorar as propriedades mecânicas do material utilizado. A mudança no formato ocorre pela conformação contínua do metal por entre um conjunto de cilindros que giram, cujos formatos e alturas são ajustados, de acordo com as dimensões desejadas para a peça. Neste tipo de conformação mecânica o material é submetido a tensões compressivas elevadas, resultantes da ação de prensagem dos rolos a tensões.

É válido ressaltar que algumas áreas da Engenharia de Produção podem contribuir para o setor analisado, a exemplo da área de Planejamento e Controle da Produção, especificamente no que tange à produção em massa, a qual surgiu no século XX, quando Ford desenvolveu a alta padronização, para atingir grandes volumes de produção e baixos custos.

Conforme Tubino (2017), pode-se dizer que nos sistemas em massa o *lead time* produtivo é baixo, e, por ser produzida pouca variedade de produtos que possuem demandas altas, estoques destes produtos à disposição dos clientes são usados como estratégia de pronto atendimento. O volume alto de produção faz com que os custos fixos sejam diluídos e que os custos variáveis das matérias-primas e componentes, negociados em grandes lotes, também sejam menores, tendo como consequência custos finais baixos, quando comparados aos sistemas de produção em lotes e sob encomenda.

É neste sentido que a produção em massa se associa ao processo de laminação, processo este que se associa ao alto volume de produção e, consequentemente, apresenta alta produtividade e um controle dimensional do produto acabado bem rigoroso.

Sob esse prisma, o presente estudo pretende elucidar tal processo de conformação mecânica, sob o viés das principais características do processo desse tipo de conformação, a partir do enfoque, em partes, da produção em massa, que será sucintamente abordado nos resultados.

A partir deste estudo, portanto, pretende-se estabelecer uma relação entre o referido processo de conformação mecânica e suas principais características. Para tanto, ateremos-nos, de modo geral, às principais características do processo de laminação.

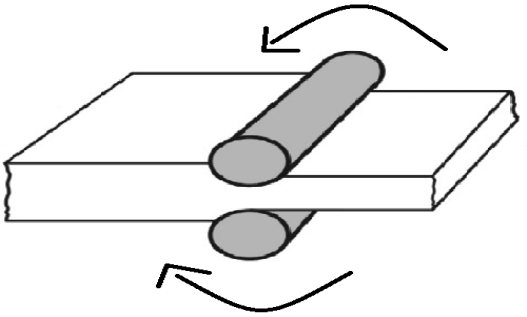
2. Revisão bibliográfica

2.1 Processo de laminação

Segundo Kiminami *et al*., (2013), a laminação é um processo de conformação mecânica que consiste na modificação da seção transversal de um metal na forma de barra, lingote, placa, fio ou tira etc., através da passagem entre dois cilindros, possuindo uma distância entre os dois menor que a espessura inicial da peça metálica, como é representado na figura 1. Os materiais produzidos nesse processo podem ser classificados como planos (chapas, tiras, etc) e não-planos (barras, cantoneiras, trilhos, etc) (NASCIMENTO, 2015).

Ademais, de acordo com Piubelli (2017) durante a realização do processo de laminação não ocorre perda de massa desses materiais que estão sendo conformados. Por apresentar alta produtividade e um controle dimensional do produto, a laminação é o processo de conformação mecânica mais utilizado (KIMINAMI *et al*.,2013).

Figura 1 – Esquema do processo de laminação



Fonte: Adaptado de Amauri e Garcia (2012, p. 42)

Segundo Piubelli (2017) o processo de laminação pode ocorrer por meio de trabalho a quente, também chamado laminação a quente ou por meio da laminação a frio. Conforme Groover (2014), em razão da necessidade de grande volume de material a ser deformado, a maioria dos processos de laminação é realizada por meio da laminação a quente. Entretanto, se comparada a laminação a quente, a laminação a frio é geralmente melhor, por apresentar a superfície da chapa laminada isenta de carepas. Além disso, a laminação a frio também é bastante usada, por aumentar a resistência do metal e permitir tolerâncias mais estreitas na espessura (GROOVER, 2014). Segundo Magalhães *et al.* (2016), um outro método que tem ganhado interesse é a laminação a morno, que pode ser feita na faixa de 650°C a 1000°C e tem o benefício de reduzir custos e tempo operacional.

2.2 Classificação dos laminadores

Segundo Filho *et al*., (2011), os laminadores são classificados de acordo com o número e arranjo de cilindros e os três principais tipos são os laminadores duo, trio e quádruo. O quadro 1, apresenta as características de cada tipo de laminador.

Quadro 1 - Características dos laminadores

Tipo de Laminador	Características
Duo	Composto de dois cilindros de mesmo diâmetro, que giram em sentidos opostos, na mesma velocidade.
Trio	Composto de três cilindros dispostos uns sobre os outros, quando o material passa pela primeira vez, ele passa entre os cilindros inferior e médio; quando ele retorna, passa pelos cilindros médio e superior.
Quádruo	Composto de quatro cilindros, dois internos (de trabalho) e dois externos (de apoio).

Fonte: Adaptado de Santos e Quadros (2018)

3. Metodologia

Neste trabalho utilizou-se o método de pesquisa exploratória, com a finalidade de familiarização com o objeto de estudo que está sendo investigado. Ela é aplicada de modo que o pesquisador tenha uma maior proximidade com o universo do objeto de estudo e, para tal, oferece informações e orienta a formulação das hipóteses da pesquisa.

Partindo-se de uma revisão bibliográfica composta pelos principais autores da área, o objetivo é compreender melhor a teoria e compreender com mais afinco formas de aplicação. Para isso, a pesquisa se baseia em estudos de autores que elaboraram trabalhos pertinentes ao assunto.

Para tanto, a metodologia se configurou em somente uma etapa: foram pesquisados e lidos os livros dos principais autores da área.

Destaca-se que a pesquisa foi restrita a somente livros e alguns trabalhos acadêmicos.

O artigo possui caráter essencialmente qualitativo, por exigir um estudo amplo do objeto de pesquisa.

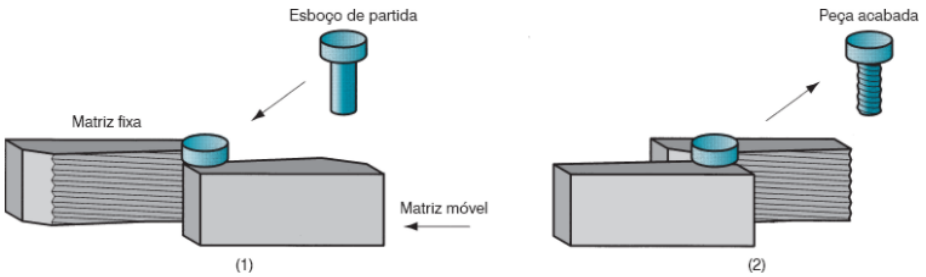
4. Resultados

4.1 Tecnologias envolvidas no processo da Laminação

A seguir, serão abordadas brevemente as tecnologias envolvidas no processo de Laminação.

A laminação de Roscas (figura 2) é um método de produção de fixadores que envolve imprimir a rosca ou parafuso em um material básico, em vez de cortá-los. Este processo faz uso de uma ferramenta com ponta de aço temperado na forma de rosca. A maior parte das operações de laminação de roscas é realizada por trabalho a frio em máquinas de laminação de roscas. Estas máquinas são equipadas com matrizes especiais que determinam o tamanho e a forma da rosca. Para esse processo existem 2 tipos de matrizes, sendo: matrizes planas, as quais alternam entre si, e matrizes arredondadas, as quais têm rotação relativa entre si para realizar a ação de laminação.

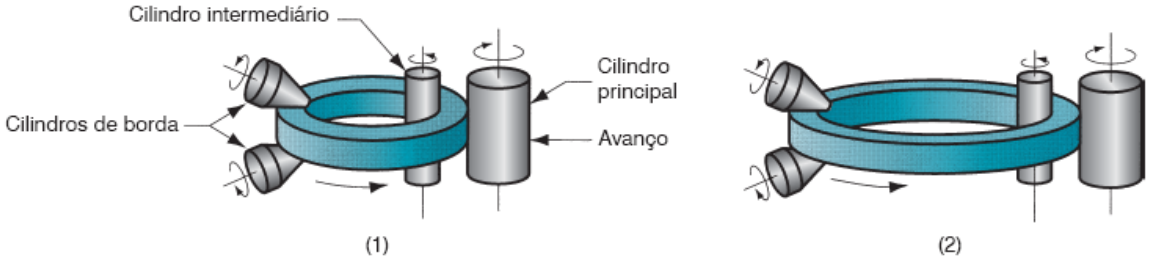
Figura 2 - Laminação de Roscas



Fonte: GROOVER (2010)

A Laminação de Anéis é um processo que consiste na conformação em um anel de parede grosso de menor diâmetro onde ocorre a laminação em um anel de parede fina de maior diâmetro. À medida que o anel de parede grossa é comprimido entre os laminadores, o material deformado alonga provocando aumento do diâmetro do anel. A laminação de anéis é usualmente realizada como um processo de trabalho a quente para produzir grandes anéis e como processo de trabalho a frio para pequenos anéis. Abaixo observamos o antes e depois do processo realizado:

Figura 3 – Laminação de anéis

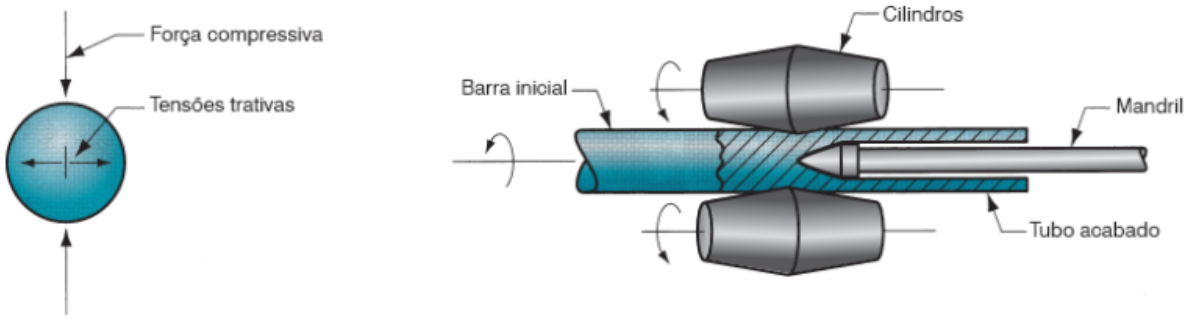


Fonte: GROOVER (2010)

A Laminação de Engrenagens trata-se de um processo a frio com intuito de produzir alguns tipos de engrenagens. O arranjo na laminação de engrenagens é similar ao da laminação de roscas, exceto no que diz respeito aos aspectos de deformação do esboço cilíndrico ou do disco que estão orientados paralelos ao seu eixo (ou a certo ângulo, no caso de engrenagens helicoidais), em vez da forma em espiral como na laminação de roscas. Existem outros métodos alternativos para a fabricação de roscas, como a usinagem.

A Laminação de Tubos sem Costura com Mandril trata-se de um especializado de conformação a quente para produção de tubos de paredes grossas sem costuras; esse tipo de processo se dispõe de dois cilindros. Esse processo utiliza dois cilindros opostos, nos quais são submetidos a elevadas tensões trativas no centro quando uma peça cilíndrica sólida é comprimida na sua circunferência. O processo é exemplificado na imagem abaixo:

Figura 4 – Laminação de Tubos



Fonte: GROOVER (2010)

4.2 Características e propriedades dos produtos obtidos

Conhecer as características e propriedades de cada componente, a interação entre elas e as particularidades do processo são fundamentais para o sucesso de qualquer técnica de processamento.

No que diz respeito à laminação a frio, tem-se o seguinte: esse tipo de laminação requer material com boa plasticidade; as reduções de espessura são limitadas pelo encruamento; as forças de laminação são bem maiores que as da laminação a quente; produz acabamento superficial bom ou ótimo; resulta em tolerâncias dimensionais mais estreitas que a laminação a quente.

Em relação à laminação a quente tem-se que ela é utilizada para materiais que tenham baixa plasticidade a frio; serve como etapa de preparação para laminação final, a frio; permite grandes reduções de espessura; produz acabamento superficial pobre, resulta em tolerâncias dimensionais largas.

No que tange às propriedades dos produtos obtidos pela laminação, ressalta-se que as propriedades mecânicas, metalúrgicas e geométricas dos produtos laminados dependem da composição química da matéria-prima, do processo de laminação a quente e a frio e da forma do produto.

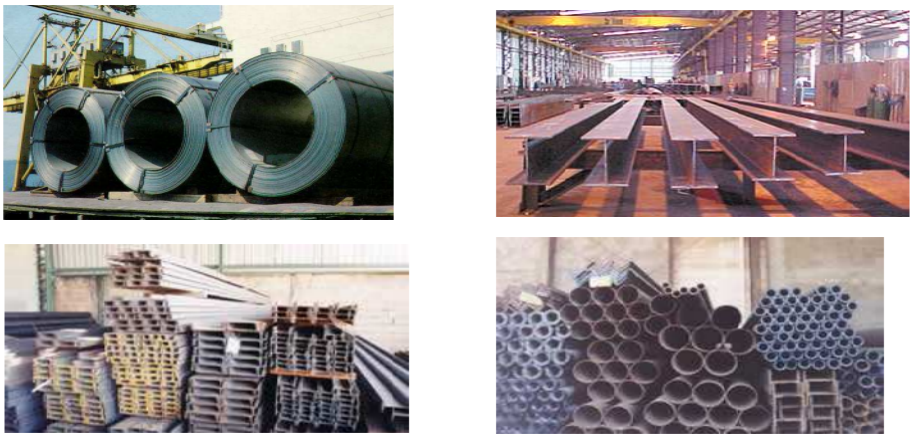
Diversos parâmetros de qualidade devem ser controlados durante o processamento para se atingir as propriedades especificadas, ou seja: a sanidade interna, a uniformidade da composição química, a ausência de defeitos superficiais e a uniformidade microestrutural da matéria-prima (lingote). As propriedades mecânicas e geométricas são condicionadas pelos parâmetros de processamento (temperaturas e tempos de aquecimento e resfriamento associados às intensidades de deformação plástica).

Muitos dos tipos de produtos têm as suas propriedades especificadas - em função da aplicação - em normas nacionais e internacionais.

Figura 5 - Produtos obtidos pela laminação a frio

Fonte: PEREIRA (2016)

Figura 6 - Produtos obtidos pela laminação a quente



Fonte: PEREIRA (2016)

4.3 Classificações/Características do processo de laminação:

De acordo com Groover (2014), a maioria dos processos de laminação demanda enorme investimento de capital, visto que seus equipamentos contêm componentes robustos, chamados trens de laminação, para realizá-los. O alto custo de investimento exige que os laminadores sejam usados para produção em grande escala de itens padronizados, tais como chapas finas e grossas. Vale salientar que a maioria dos processos de laminação é realizada por meio de trabalho a quente, chamado laminação a quente, em razão da necessidade de grande volume de material a ser deformado.

A laminação é o processo de transformação mecânica mais utilizado na fabricação de chapas e perfis, posto que apresenta alta produtividade e um controle dimensional do produto acabado bem rigoroso, como placas, chapas, barras de diferentes seções, trilhos, perfis diversos, anéis e tubos. Blocos são laminados para produzir formas estruturais e trilhos para linhas ferroviárias. Os tarugos são laminados para produzir barras quadradas e barras de seção circular, e estes produtos são usualmente as matérias-primas em processos de usinagem, trefilação de arames, forjamento e outros processos de transformação dos metais. Placas são laminadas para produzir chapas grossas, chapas finas e tiras. Chapas grossas laminadas a quente são usadas na construção naval, pontes, caldeiras, estruturas soldadas para diversas máquinas pesadas, tubos com costura e muitos outros produtos (GROOVER, 2014).

Com o intuito de ressaltar as principais características do processo de laminação, segue abaixo o quadro 2:

Quadro 2 - Principais características do processo de laminação

Classificação/Características	Descrição
1. Condições de trabalho: a quente ou a frio.	A quente: quando necessita de grandes reduções de espessura. A frio: aumento da dureza e da resistência.

2. Função: - Laminadores a quente - Acabadores	Laminadores a quente (primários): são aqueles em que os lingotes são transformados em produtos semi-acabados, como: placas, tarugos ou blocos. Laminadores acabadores: dão ao material, vindo do laminador primário, a forma final, como: perfilados, trilhos, tubos e chapas.
3. Volume	Produção em grande escala de itens padronizados em virtude do alto custo de investimento.
4. Tipos de produtos	Placas, chapas, barras de diferentes seções, trilhos, perfis diversos, anéis, tubos, entre outros.
5. Compressão direta	Predomina a solicitação externa por compressão sobre a peça de trabalho.

Fonte: Autores (2021)

Em relação às características dos sistemas de produção, é válido enfatizar a existência de tais sistemas, sendo eles: contínuo, em massa, em lotes e projeto. Para maior detalhamento sobre as características dos sistemas de produção citados, segue abaixo o quadro 3:

Quadro 3 - Características dos sistemas de produção

	Contínuo	Repetitivo em massa	Repetitivo em lotes	Projeto
Volume de produção	Alto	Alto	Médio	Baixo
Variedade de produtos	Pequena	Média	Grande	Pequena
Flexibilidade	Baixa	Média	Alta	Alta
Qualificação da MOD	Baixa	Média	Alta	Alta
Layout	Por produto	Por produto	Por processo	Por processo
Capacidade ociosa	Baixa	Baixa	Média	Alta
Lead times	Baixo	Baixo	Médio	Alto
Fluxo de informações	Baixo	Médio	Alto	Alto
Produtos	Contínuos	Em lotes	Em lotes	Unitário

Fonte: adaptado de Tubino (2006)

Tendo em vista o quadro acima, é evidente que a laminação está relacionada à produção em massa, ou seja, está associada ao alto volume de produção, à média flexibilidade e à variedade de produtos, layout por produtos, baixa capacidade ociosa, produtos em lotes, média qualificação da MOD, *lead time* baixo e fluxo de informações médio.

5. Conclusão

O presente trabalho objetivou compreender e identificar as principais características do processo de conformação mecânica por laminação. Para isso, utilizou-se o método de pesquisa exploratória, com o objetivo de familiarização com o objeto de estudo. Dessa forma, foram pesquisados e lidos os livros dos principais autores da área. Vale destacar

que, no decorrer do artigo, aspectos relevantes do referido tema foram apresentados, com a finalidade de relacioná-los com os diversos pontos discutidos acima.

Este estudo, portanto, contribuiu para o entendimento da técnica de laminação, sob o enfoque do sistema de produção em massa. De modo geral, foi possível confirmar o quão evidente tal processo se encontra nas grandes organizações.

Referências

AMAURI, G.; Alvares, S. J.; dos, S.C. A. **Ensaios dos Materiais**. 2ª edição. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2012. 978-85-216-2114-0. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2114-0/. Acesso em: 2021 ago. 17.

FILHO et al. **CONFORMAÇÃO PLÁSTICA DOS METAIS**. São Paulo. 2011. Disponível em: http://www.fem.unicamp.br/~sergio1/CONFORMACAOPLASTICADOSMETAIS.pdf. Acesso em 17 Ago. 2021.

GROOVER, M. P.. **Introdução aos Processos de Fabricação**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2014. 978-85-216-2640-4. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2640-4/. Acesso em: 18 Ago 2021.

KIMINAMI, C. S.; Castro, W.B. D.; Oliveira, M.F. D. **Introdução aos processos de fabricação de produtos metálicos**. São Pauolo: Editora Blucher, 2013. 9788521206835. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521206835/. Acesso em: 2021 ago. 18.

MAGALHÃES, et al. **EFEITO DA LAMINAÇÃO A QUENTE E A MORNO NA MICROESTRUTURA, DUREZA E TEXTURA DE UM AÇO MÉDIO MANGANÊS**. In: Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, parte integrante da ABM. Rio de janeiro, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/320115090_EFEITO_DA_LAMINACAO_A_QUENTE_E_A_MORNO_NA_MICROESTRUTURA_DUREZA_E_TEXTURA_DE_UM_ACO_MEDIO_MANGANES. Acesso em 16 Ago. 2021.

MORO, Norberto; AURAS, André P. **Processos de Fabricação. Conformação Mecânica I - Generalidades, Laminação e Forjamento.** Florianópolis, 2017. CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE SANTA CATARINA GERÊNCIA EDUCACIONAL DE METAL MECÂNICA CURSO TÉCNICO DE MECÂNICA INDUSTRIAL.Disponível em: http://www.norbertocefetsc.pro.br/downloads/pfb_conformacaoi.pdf Acesso em: 10 Ago. 2021.

NASCIMENTO, Hugo. **LAMINAÇÃO: UM ESTUDO DE MODELOS DE CÁLCULO DA CARGA DE LAMINAÇÃO A FRIO**. 2015. 105 f. Monografia (Curso De Engenharia De Materiais) - Centro Federal De Educação Tecnológica De Minas Gerais. Disponível em: https://www.demat.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/25/2018/06/TCCII-_2%c2%ba_-2015_Hugo-Leonardo-vers%c3%a3o-final.pdf. Acesso em 15 Ago. 2021.

PIUBELLI, Felipe. **INFLUÊNCIA DA TAXA DE DEFORMAÇÃO POR LAMINAÇÃO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS NA LIGA DE ALUMÍNIO** 1100. 2017. 59 f. Monografia (Curso De Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal Do Paraná.Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9221/1/PB_DAMEC_2017_2_09.pdf Acesso em: 15 Ago. 2021.

SANTOS, B. B. **ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TIPO DE PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE LAMINADOS DE COMPÓSITO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS**. Disponível em: http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/29257/3/2017_tcc_bbsantos.pdf Acesso em: 19 Agosto 2021.

SANTOS, B.K. D.; QUADROS, M.L. D. **Processo de conformação**. Porto Alegre: Grupo A, 2018. 9788595024878. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595024878/. Acesso em: 18 Ago 2021.

TUBINO, D. F. **Manual de planejamento e controle da produção.** 2. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

TUBINO, Ferrari. D. **Planejamento e Controle da Produção - Teoria e Prática***, 3ª edição*. Disponível em: Minha Biblioteca, Grupo GEN, 2017. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788597013726/epubcfi/6/22[%3Bvnd.vst.idref%3Dchapter01]!/4 Acesso em: 24 Set. 2021.