



44° SENAFOR

28ª Conferência Internacional de Forjamento - Brasil
14ª Conferência Internacional de Conformação de Chapas / 11º Congresso do BrDDR
14ª Conferência Internacional de Materiais e Processos para Energias Renováveis
3ª Conferência Internacional de Inovação em Materiais e Manufatura
Porto Alegre, RS, dias 1, 2 e 3 de outubro de 2025
www.senafor.com

ESTUDO DA ESTAMPAGEM INCREMENTAL EM CHAPAS DE ALUMÍNIO PARA VALIDAÇÃO GEOMÉTRICA DE CANAIS APLICADOS NA FABRICAÇÃO DE PLACAS ABSORVEDORAS DE CALOR PARA COLETORES SOLARES

Gilson de March ⁽¹⁾
Lírio Schaeffer ⁽²⁾
Anderson Daleffe ⁽³⁾
Daniel Fritzen ⁽⁴⁾
Henrique Cechinel Casagrande ⁽⁵⁾
Morvan Antônio Américo ⁽⁶⁾
Pedro Henrique Possamai ⁽⁷⁾

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo investigar a viabilidade técnica da estampagem incremental de ponto simples (Single Point Incremental Forming – SPIF) na conformação de canais em chapas de alumínio, com foco na fabricação de placas absorvedoras de calor em coletores solares. Para validar o desempenho do material no processo de conformação, foram realizados ensaios de conformação mecânica, com destaque para o ensaio de Nakajima e o processo SPIF, permitindo a construção da Curva Limite de Conformação (CLC). A caracterização da deformação plástica será conduzida por meio da técnica de visioelasticidade, utilizando marcação por círculos para análise do alongamento das elipses após o processo de estampagem. O material estudado foi a liga alumínio 1200 H14 (ASTM/ABNT), considerada adequada para aplicações térmicas pela sua alta condutividade e boa conformação. Os resultados forneceram subsídios para a seleção de parâmetros operacionais e validação geométrica de canais conformados, contribuindo para o desenvolvimento de soluções leves, eficientes e de baixo custo para o setor de energia solar.

Palavras-chave: Alumínio 1200 H14; Estampagem incremental; Curva limite de conformação; Coletores solares.

⁽¹⁾ Doutorando, UFRGS, E-mail: gilson.march@satc.edu.br

⁽²⁾ Prof. Dr., UFRGS, E-mail: schaefer@ufrgs.br

⁽³⁾ Prof. Dr., UNISACT, E-mail: anderson.daleffe@satc.edu.br

⁽⁴⁾ Prof. Dr., UNISACT, E-mail: daniel.fritzen@satc.edu.br

⁽⁵⁾ Doutorando, UFSC, E-mail: henrique_cechinel@hotmail.com

⁽⁶⁾ Mestrando, UNISACT, E-mail: morvan.americo@satc.edu.br

⁽⁷⁾ Mestrando, UNISACT, E-mail: pedro.possamai@satc.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Diante dos desafios atuais da indústria em reduzir custos e otimizar processos com flexibilidade e eficiência energética, a aplicação de novos materiais e tecnologias tem sido uma estratégia recorrente. Neste cenário, destaca-se a Estampagem Incremental de Chapas (Incremental Sheet Forming – ISF), processo que vem ganhando destaque por permitir a produção de geometrias complexas sem a necessidade de ferramentas específicas, sendo amplamente aplicada em prototipagem e pequenas séries [1]; [2]; [3]; [4].

A ISF apresenta vantagens relevantes quando comparada à conformação convencional, como a eliminação de moldes rígidos, baixo custo operacional, alta taxa de conformabilidade e viabilidade para ajustes geométricos rápidos [5]; [6]. Estas características a tornam ideal para aplicações com geometrias variáveis, como implantes biomédicos, peças automotivas especiais e, mais recentemente, componentes para coletores solares térmicos [3]; [7].

O presente estudo tem como foco a aplicação da ISF para conformar canais diretamente em chapas de alumínio ASTM/ABNT 1200 H14 com espessuras de 1,5 mm, substituindo as tradicionais serpentinas de cobre empregadas nos coletores solares planos. A liga 1200 H14 é composta por aproximadamente 99% de alumínio, apresentando elevada condutividade térmica, boa resistência à corrosão e excelente conformabilidade, além de ser leve e economicamente viável [3]; [8]; [9]; [20]; [21]. Essas propriedades tornam o material promissor para aplicações térmicas que demandam alta eficiência de transferência de calor.

No contexto energético, o Brasil destaca-se como uma das nações com maior potencial de geração de energia solar, devido à elevada radiação global média em seu território [9]; [10]. Estima-se que cerca de 25% da energia elétrica consumida em residências brasileiras seja destinada ao aquecimento de água, o que reforça a importância de tecnologias térmicas mais acessíveis e sustentáveis, como os coletores solares planos [11]; [12].

No entanto, os modelos convencionais de coletores empregam tubos de cobre soldados à placa absorvedora, processo que eleva os custos e limita o aproveitamento térmico em virtude do contato parcial entre os elementos [13]; [14]. A aplicação da ISF neste contexto propõe a formação de canais diretamente na chapa, promovendo maior contato térmico com o fluido e reduzindo etapas de fabricação como corte, dobra e solda. Estudos recentes apontam que essa abordagem é capaz de manter ou até melhorar a eficiência térmica do sistema, ao mesmo tempo em que reduz significativamente o uso de materiais caros e etapas manuais de fabricação [15]; [16]; [17].

Dessa forma, o objetivo deste artigo é investigar a viabilidade técnica da estampagem incremental na fabricação de canais em chapas de alumínio para coletores solares térmicos, com ênfase na caracterização do material, definição da Curva Limite de Conformação (CLC), Linha de Fratura de conformação (FLC) e validação geométrica dos canais conformados. A metodologia inclui experimentos com diferentes geometrias (cone e pirâmide), ensaio de tração e o método de Nakajima para mapeamento das deformações, bem como testes comparativos de desempenho térmico entre os coletores produzidos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho a seguir abordará as principais etapas do processo estudado.

2.1 ESTAMPAGEM INCREMENTAL

Foram avaliados dois modelos geométricos, pirâmide e cone, ambos com perfil radial, para determinação do ângulo máximo de conformação (Ψ), conforme utilizado por Fritzen [18]. Realizaram-se doze ensaios, seis por formato, variando o incremento vertical entre 0,2 mm e 0,5 mm, possibilitando a comparação entre diferentes parâmetros de conformação

A criação dos modelos 3D para estampagem foi realizada no software SolidWorks®, com base nas especificações apresentadas na Figura 1.

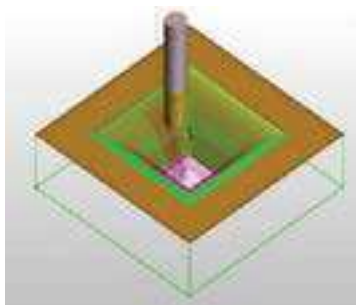


Figura 1: Estratégia da ferramenta.

2.2 FABRICAÇÃO DA PLACA DO COLETOR SOLAR

Foram conformadas placas com três e cinco canais paralelos, utilizando estratégias central e de contorno conforme figura 2. O processo seguiu o mesmo método aplicado às geometrias de pirâmide e cone, empregando lubrificante VG 68 para reduzir o atrito durante a estampagem incremental.

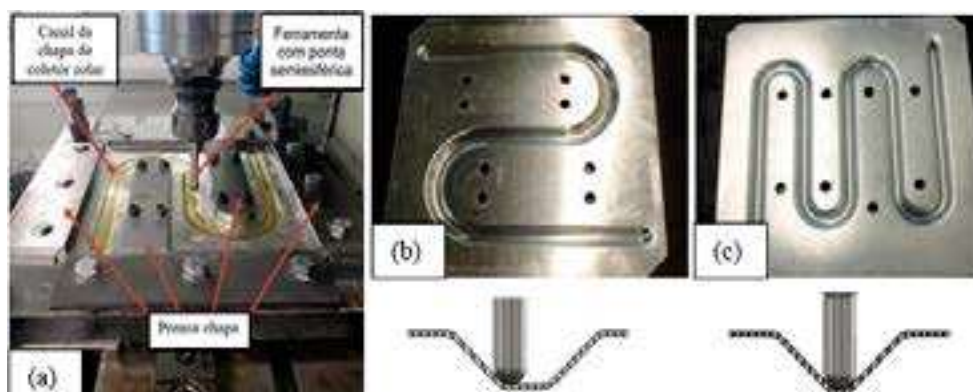


Figura 2: Configuração de diferentes canais: (a) Fabricação da chapa em centro de usinagem; (b) Três canais retos de contorno; (c) Cinco canais retos no centro.

Adotou-se incremento vertical (Δz) paralelo de 0,5 mm, aplicado continuamente na trajetória da ferramenta, tanto no centro quanto no contorno dos canais, com profundidade de 10 mm. Para analisar a resistência do material, a repetição desse incremento foi realizada até o rompimento da peça, sendo os parâmetros operacionais apresentados na Tabela 01.

Tabela 01: Parâmetro estampagem canal.

Descrição	Valor
Incremento Vertical (Δz)	0,2 e 0,5mm
Velocidade de Avanço (f)	1.000mm/min
Rotação da ferramenta (N)	Livre
Perfil da geometria da parede: Circular	50mm

Fonte: do autor

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos neste estudo serão apresentados com o objetivo de avaliar os parâmetros aplicados na Estampagem Incremental.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA CHAPA DE ALUMÍNIO 1200 H14

A análise de espectrometria indicou concentração de alumínio ligeiramente inferior ao esperado e maior teor de chumbo (Pb), possivelmente decorrente de contaminação ou variação do método de análise, em comparação aos valores de composição aceitáveis para essa liga segundo a classificação da ABNT/ASTM, apresentados na Tabela 2 [8], [27].

Tabela 01: Análise química do Alumínio 1200 H14.

Composição Química do Alumínio 1200 H14								
Al (%)	Si (%)	Fe (%)	Zn (%)	Mn (%)	Cu (%)	Ti (%)	Pb (%)	Outros (%)
98,72	0,497	0,291	0,0039	0,002	0,128	0,01	0,194	0,1541

Fonte: do autor

3.2 ANÁLISE METALOGRÁFICA

A preparação da análise metalográfica exige a preparação cuidadosa da amostra, que deve ser submetida a etapas sequenciais de corte, lixamento, polimento e ataque químico, possibilitando a observação da microestrutura do material [30]. Ambas as amostras foram submetidas ao ataque químico da solução keller por tempo de 1s.

3.2.1 MICROESTRUTURA DA CHAPA ANTES DA ESTAMPAGEM

A figura 3 apresenta a micrografia da chapa laminada antes da estampagem incremental.

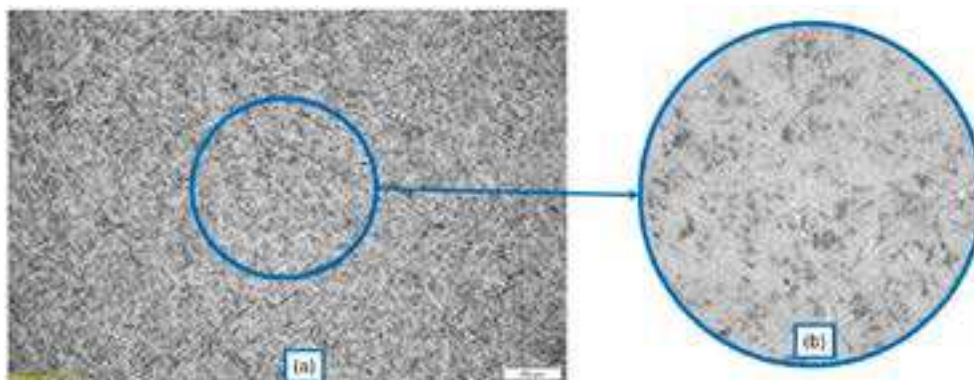


Figura 3: Imagem micrográfica da chapa antes da estampagem: (a) ampliada 100x; (b) ampliada 500x

Na imagem (a), observa-se a microestrutura do alumínio relativamente homogênea com partículas intermetálicas distribuídas de forma dispersa ao longo da superfície. Na imagem (b) ampliada 500x, permite detalhar melhor a morfologia das partículas intermetálicas, evidenciando sua forma irregular, contornos mais nítidos e regiões de possível segregação, como Fe, Si, Mn, e traços de Pb, confirmando os resultados de espectrometria de emissão óptica. A orientação alongada dos grãos reflete o efeito do processamento mecânico por laminação, característicos da condição de encruamento H14.

3.2.2 MICROESTRUTURA DA CHAPA APÓS A ESTAMPAGEM

A figura 4 apresenta a micrografia da chapa laminada antes da estampagem incremental.

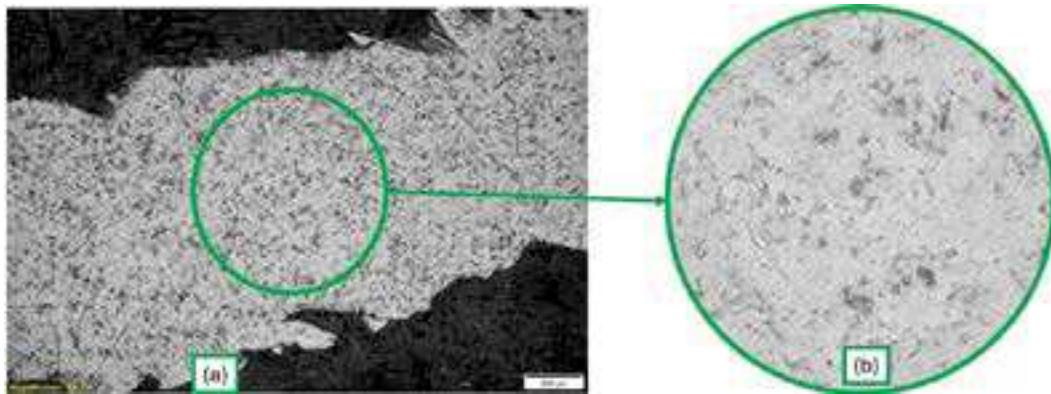


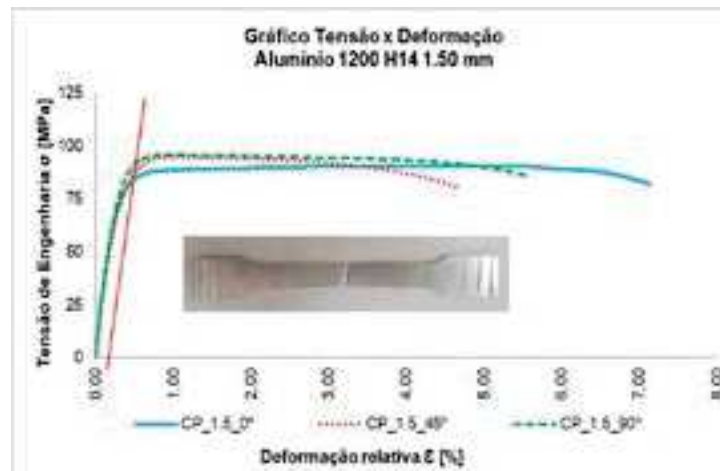
Figura 4: Imagem micrográfica da chapa após a estampada: (a) ampliada 100x; (b) ampliada 500x

A micrografia com aumento em 100x da figura (a), evidencia a matriz de alumínio com distribuição homogênea de partículas intermetálicas ao longo da superfície, visíveis como pontos e linhas escuras dispersas, enquanto a ampliação em 500x evidencia com clareza os contornos, formas irregulares e tamanhos distintos das partículas intermetálicas presentes no alumínio após a estampagem incremental.

3.3 ENSAIO DE TRAÇÃO

Os resultados das curvas tensão x deformação para as três direções (0° , 45° e 90°) indicam variações significativas no comportamento mecânico do material conforme figura 5.

Figura 5: Curva Tensão x Deformação média para os corpos de prova a 0° , 45° e 90° ao sentido de laminação.



Fonte: Do autor

A determinação da transição entre os regimes elástico e plástico em cada direção dos corpos de prova foi realizada pelo método do desvio de 0,2% na deformação relativa (ϵ), traçando-se uma linha paralela à região elástica da curva tensão–deformação. O ponto de interseção define a tensão de escoamento (σ_e) do material [18]; [29].

A partir dos ensaios de tração, foram obtidos os parâmetros mecânicos de interesse, como deformação relativa (ϵ), alongamento (δ), tensão máxima (σ_B) e a curva de escoamento, conforme apresentado na Tabela 2. O alongamento (δ) e a área inicial da seção (s_0) foram determinados por medições diretas na chapa, antes e após a fratura.

Tabela 2: Dados dos ensaios de tração 0°, 45° e 90° com espessura de 1,5mm.

Orientação do corpo de prova	σ_B [MPa]	$\sigma_{e 0,2}$ [MPa]	ϵ [%]	δ [mm]
0°	90,48	85,09	7,1	5,71
45°	95,15	89,79	4,6	3,72
90°	95,84	92,75	5,6	4,48

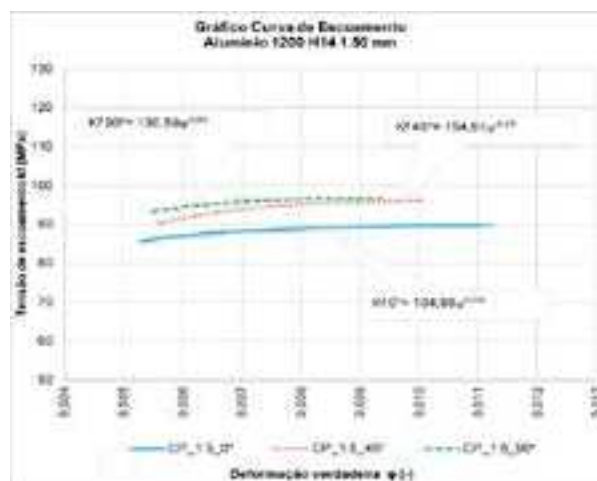
Fonte: Do autor

Verifica-se que a deformação mais acentuada ocorre ao longo da direção de laminação, em concordância com os resultados reportados por Teixeira [19], CBA [9], Donato [20], Cardoso [21], Lima [22] e Barros [23]. Esses achados evidenciam a relevância da orientação de laminação sobre o comportamento mecânico do material, influenciando diretamente sua resistência e capacidade de deformação, aspecto essencial para a otimização do processo de estampagem incremental.

3.3.1 Curva de Escoamento

A análise dos valores de tensão de escoamento (K_f) estão representados na figura 6 do alumínio 1200 H14 com 1,5mm de espessura, nos diferentes sentidos de laminação da chapa: 0°, 45° e 90°.

Figura 6: Curvas de escoamento em 0°, 45° e 90° no sentido de laminação.



Fonte: Do autor

Na Tabela 3 apresenta uma média de escoamento $K_f = 130,17 \cdot \varphi^{0,07}$, demonstrando que o material mantém comportamento mecânico estável nas faixas de deformação analisadas. Esses resultados são essenciais para a previsão do desempenho do material em aplicações industriais, possibilitando maior controle sobre os parâmetros de conformação. A exposição dos valores de K_{f0} (tensão de escoamento inicial) e do coeficiente de encruamento (n) para cada orientação permite compreender detalhadamente o efeito da anisotropia no comportamento do material, informação essencial para a otimização de processos como a estampagem incremental.

Tabela 3: Propriedades mecânicas dos corpos de prova de 0°, 45° e 90° no sentido de laminação com $s_0 = 1,50$ mm.

Orientação do corpo de prova	K_f [MPa]	K_{f0} [MPa]	n
0°	104,98	85,4	0,04
45°	154,95	90,29	0,10
90°	130,59	93,26	0,06

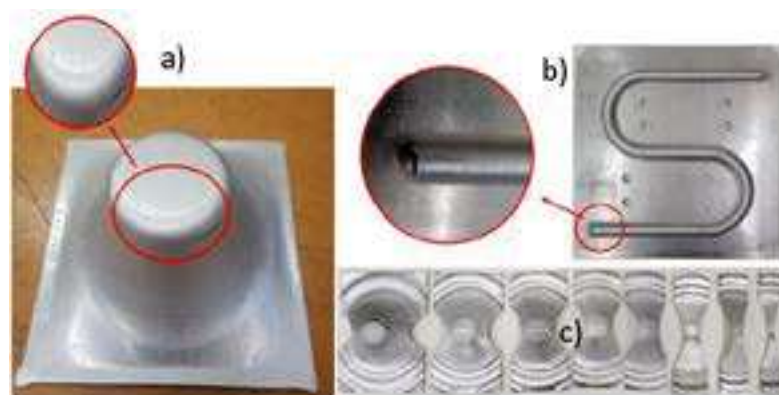
Fonte: Do autor

De acordo com Donato [20] e Schreiber [24], a curva de escoamento do material mostra consistência nos resultados, independentemente da orientação de laminação dos corpos de prova, apresentando valores próximos aos obtidos experimentalmente. No entanto, os dados exibidos no gráfico revelam diferenças marcantes entre as orientações avaliadas, ressaltando a importância de levar em conta as propriedades anisotrópicas do material em aplicações específicas.

3.4 ANÁLISE DAS DEFORMAÇÕES CLC E FLC

Com os valores das elipses obtidos para todos os corpos de prova, foi possível traçar a FLC para a estampagem incremental de pirâmides, cones e placas coletoras, bem como a CLC no ensaio de Nakajima conforme figura 7. Os resultados evidenciam que a geometria da peça e o incremento vertical (Δ_z) exercem influência significativa sobre o comportamento do material.

Figura 7: Deformações das geometrias: a) Peça estampada com geometria de cone; b) Placa absorvedora estampada; c) Corpos de prova ensaio Nakajima



Fonte: Do autor

Nos corpos conformados em forma de pirâmide, verificou-se que um menor incremento vertical ($\Delta_z = 0,2 \text{ mm}$) proporcionou maior resistência à fratura, indicando melhor distribuição de tensões e maior estabilidade do processo, em comparação ao incremento de $0,5 \text{ mm}$. De maneira similar, os corpos em formato de cone apresentaram comportamento compatível, embora com leve predominância de deformação biaxial (φ_2), sugerindo um estado de tensões mais uniforme.

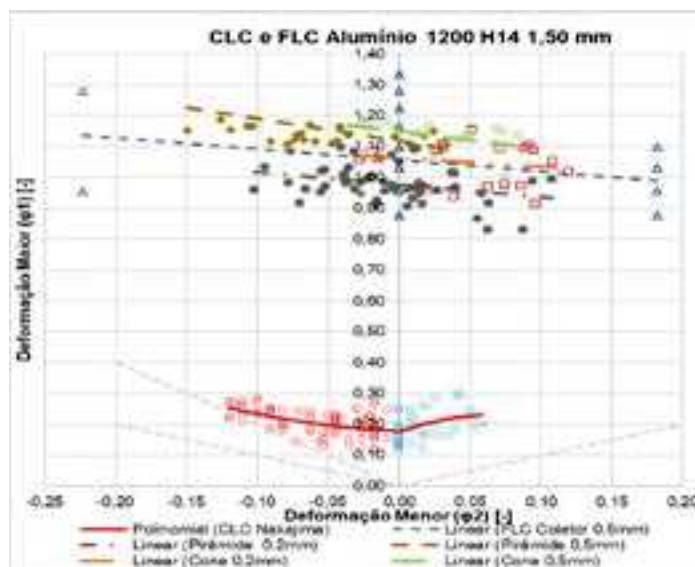
A análise das placas absorvedoras dos coletores solares conformadas por SPIF mostrou uma linha de fratura semelhante à observada nos demais formatos, com valores de φ_1 superiores a 1, evidenciando a elevada capacidade de deformação plástica antes da ruptura, favorecida pela uniformidade das tensões e ausência de pontos de concentração críticos.

No ensaio de Nakajima, corpos de prova com larguras variadas foram deformados até a fratura, possibilitando a construção da CLC do material. A análise das elipses próximas às trincas indicou valores médios de deformação principal (φ_1) em torno de 0,18 na região crítica, representando o limite típico da estampagem convencional. Esses resultados mostraram-se consistentes com os valores teóricos relatados por Schreiber [24] e Park [25], validando a metodologia adotada.

A análise comparativa entre os ensaios de conformação incremental (FLC) e os convencionais (CLC) evidencia a capacidade de suportar deformações superiores às estimadas para processos tradicionais, conforme relatado por Park [25] e Teixeira [26]. Em determinadas condições, foram obtidos valores de φ_1 acima de 1, demonstrando o elevado potencial de conformação do material quando processado por SPIF, conforme

representado na figura 8. Esses resultados confirmam a viabilidade do uso do alumínio em aplicações que exigem altos níveis de deformação plástica, como na produção de coletores solares fabricados diretamente por estampagem incremental.

Figura 08: Curva CLC e FLC do alumínio 1200 H14 1,5mm

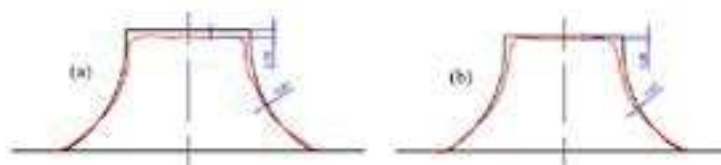


Fonte: Do autor

3.5 ANÁLISE DO PERFIL GEOMÉTRICO

A análise do perfil geométrico das peças produzidas por SPIF é fundamental para avaliar a influência do retorno elástico na precisão dimensional final [28]. A comparação entre o modelo CAD e as geometrias efetivamente obtidas por meio de medições tridimensionais possibilita identificar as variações decorrentes de deformações elásticas residuais. A figura 9 apresenta os resultados das medições tridimensionais realizadas nas peças conformadas com incrementos verticais (Δ_z) de 0,2 mm e 0,5 mm.

Figura 08 – Comparação entre geometria projetada e medida em máquina tridimensional: a) Incremento de 0,2 mm; (b) Incremento de 0,5 mm.



Fonte: Do autor

As medições mostraram que o menor incremento ($\Delta_z = 0,2$ mm) resultou em maior retorno elástico, consequência da menor deformação plástica acumulada, o que favorece a recuperação elástica após a liberação das tensões internas. Esse comportamento está em concordância com Allwood [28], que associa incrementos mais reduzidos a maiores desvios dimensionais. Em contraste, o incremento de ($\Delta_z = 0,5$ mm) proporcionou conformações mais estáveis, apresentando menor diferença média em relação ao modelo teórico.

Foi também realizada a análise do ângulo de parede (Ψ), determinado geometricamente pela inclinação entre a trajetória da ferramenta e o plano horizontal da peça, cujos resultados estão apresentados na Tabela 4. A definição correta desse parâmetro é essencial para identificar os limites de conformação, além de possibilitar

ajustes no processo que minimizem o retorno elástico e aumentem a fidelidade geométrica [18]; [28].

Tabela 05: Ângulo de parede da estampagem incremental cone e pirâmide

Tipo	Incremento [mm]	Profundidade [mm]	Ângulo [°]	s ₀ [mm]	s ₁ [mm]
Cone	0,20	46,54	88,17	1,50	0,04790
Cone	0,50	46,21	87,82	1,50	0,05706
Pirâmide	0,20	45,37	86,95	1,50	0,07981
Pirâmide	0,50	47,24	88,90	1,50	0,02880

Fonte: Do autor

Os valores obtidos mostraram boa correspondência com os resultados de Teixeira [26], permanecendo dentro das tolerâncias previstas e confirmando a confiabilidade do método e dos parâmetros aplicados.

4. CONCLUSÃO

A análise da composição química mostrou próxima à norma, com pequenas variações, e microestrutura homogênea com partículas intermetálicas distribuídas com grãos alongados decorrentes do processo de laminação. Após a estampagem incremental, a matriz manteve estabilidade, sem alterações significativas na estrutura do material.

Com base nos resultados no processo de estampagem incremental (SPIF) apresenta elevado potencial para a conformação de geometrias complexas, mostrando-se tecnicamente viável e adequado para aplicações como coletores solares térmicos. Os ensaios de tração confirmaram o comportamento típico de materiais dúcteis, destacando ainda a influência da orientação de laminação sobre as propriedades mecânicas, aspecto de grande relevância nos processos de conformação.

A comparação entre as CLC e as FLC evidenciou que o SPIF possibilita ao material superar os limites convencionais de deformação sem perda de integridade, resultado atribuído à distribuição homogênea das tensões e à menor concentração de esforços críticos. Na análise das geometrias em pirâmide e cone, observaram-se diferenças pouco significativas em φ_1 , com leve predominância de deformação biaxial em φ_2 no cone, indicando que a forma da peça exerce apenas influência moderada no comportamento final.

A investigação do ângulo de parede (Ψ) e da espessura final demonstrou que tanto o incremento vertical Δ_z quanto a geometria da peça influenciam diretamente a profundidade conformada, o retorno elástico e a precisão dimensional. Enquanto incrementos menores favoreceram maior retorno elástico, os valores mais elevados de Δ_z resultaram em maior estabilidade geométrica.

REFERENCIAS

- [1] ALLWOOD J. M., BRAUN D., MUSIC O. **The effect of partially cut-out blanks on geometric accuracy in incremental sheet forming**, Journal of Materials Processing Technology, vol. 210, pp. 1501-1510, 2010.
- [2] MOTTA, L.E.C., DALEFFE, A., CONGER, R., MARCH D.M., CATELAN, J., FRITZEN, D., **Estampagem Incremental Múltiplos Estágios em Chapas de Aço 1008**, Revista Vincci – Periódico Científico da UniSATC, v. 8, n. 2, p. 386-405, jul./dez., 2023.
- [3] MARCH, D.G., PINHEIRO, W. C., FRITZEN, D., DALEFFE, A., CASTELAN, J., **Estudo do Processo de Estampagem Incremental em Chapas de Alumínio para uso em Aquecedores Solares**, Revista Vincci – Periódico Científico da UniSATC, v. 8, n. 2, p. 446-468, jul./dez., 2023.

- [4] LU H., LIU H., WANG C., **Review on strategies for geometric accuracy improvement in incremental sheet forming**, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 102, p. 3381–3417, 2019.
- [5] JOVANI C., SCHAEFFER L., DALEFFE A., FRITZEN D., SALVARO V., SILVA F. P. d., **Manufacture of custom-made cranial implants from DICOM® images using 3D printing, CAD/CAM technology and incremental sheet forming**. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*, 2014.
- [6] DALEFFE A. **Fabricação de Próteses Cranianas Personalizadas em Chapas de Titânio através da Estampagem Incremental**. Trabalho de tese do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais PPG3M UFRGS. Porto Alegre 2014.
- [7] ARRUDA R. P. D., BARONI A., SCHAEFFER L., **Sheet metal forming: new technologies applied to the fabrication of solar energy collector panels**, International Journal of Mechatronics and Manufacturing Systems, vol. 1 N°2/3, 2008.
- [8] ALUMÍNIO R., **Especial Mineração de Bauxita: como é feita a extração e qual a importância da atividade para o Brasil**, 30 setembro 2019. [Online]. Available: <https://revistaaluminio.com.br/especial-mineracao-de-bauxita-como-e-feita-a-extracao-e-qual-a-importancia-da-atividade-para-o-brasil/>. [Acesso em 05 01 2024].
- [9] CBA, **Laminados de alumínio**, São Paulo: Votorantim, 2002.
- [10] LIMA J. P. P., **Estudo do comportamento mecânico da liga de alumínio ASTM/ABNT 1200 em função das condições de solitação mecânica**, Trabalho de Conclusão de Curso, p. 50, 2016.
- [11] PEREIRA R. C., SHIOTA R. T. S., MELLO S. F. M., ASSIS V. J., J. R. BARTOLI, **Eficiência térmica de coletores solares de baixo custo - csbc**, Novembro 2006.
- [12] INPE I. N. d. P. E., **Atlas brasileiro de energia solar**, 2.ed ed., São José dos Campos - SP, 2017.
- [13] DUFFIE J. A., BECKMAN W. A., **Solar Engineering**, 4th Edition. ed., I. H. N. J. John Wiley & Sons, Ed., 2013.
- [14] TAVARES L. D. O., DIMBARRE V. V., BIGLIA F. M., CRUZ F. B. C., SANTOS P. H. D. D., ALVES T. A., **Análise Experimental do Desempenho Térmico de um Coletor Solar do Tipo Placa Plana**, vol. 13º, Conbrep - Congresso brasileiro de Engenharia de Produção, 2023.
- [15] COPPER DEVELOPMENT ASSOCIATION INC. **Solar Systems Use Copper to Harness Sun's Energy**. Building & Architecture News, 2010. Disponível em: <https://www.copper.org/publications/newsletters/ba-news/2010/december/article4.html?utm>. Acessado em: Julho de 2025.
- [16] GREENER, T. S., **Energias renováveis no brasil e no mundo**, vol. 001, E-Book, 2018.
- [17] PACHECO, F., **Energias Renováveis: breves conjuntura e planejamento**, Salvador p 4-11 outubro de 2006.
- [18] FRITZEN, D., **Estudo dos Parâmetros de Conformabilidade para o Processo de Estampagem Incremental**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- [19] TEIXEIRA, A. R., **Análise de Parâmetros de Estampagem Incremental para Alumínio Puro**. Porto Alegre: UFGS- Universidade Federal de Rio Grande de Sul, 2019.
- [20] DONATO, G. H. B., MOÇO, R. F., **Caracterização de Resistência à Fadiga de Aço Sae 1008 e Alumínio 1200 H14 Utilizando Flexão Alternada com Corpos de Prova Normalizados e Propostos**. 71º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 16º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, parte integrante da ABM Week. Rio de Janeiro, setembro de 2016.
- [21] RODRIGUES, G. L., **Efeitos dos Tratamentos Térmicos em Ligas De Alumínio**. Monografia de Bacharel em Engenharia Mecânica. Universidade de Rio verde, Goiás 2015.
- [21] CARDOSO, D. N., **Efeito do Ciclo Térmico no Encruamento de Ligas Metálicas com Características Estruturais Distintas**. Bacharel em Engenharia de Materiais. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2019.
- [22] LIMA, J. P. P., **Estudo do Comportamento Mecânico da Liga de Alumínio Astm/Abnt 1200 em Função das Condições de Solitação Mecânica**, Belo Horizonte MG, 2016.
- [23] BARROS V. H. D. S., **Fabricação de Peças Complexas em Chapas Finas de Alumínio Comercialmente puro usando o Método de Estampagem Incremental**, Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2019.
- [24] SCHREIBER, R. G., **Método de Determinação do Limite de Deformação na Estampagem Incremental de Diferentes Materiais**, Porto Alegre: UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2022.
- [25] PARK J. J., KIM Y.-H., **Fundamental studies on the incremental sheet metal forming technique**, pp. 447-453, 2003
- [26] TEIXEIRA, A. R., **Análise de Parâmetros de Estampagem Incremental para Alumínio Puro**, Porto Alegre: UFGS- Universidade Federal de Rio Grande de Sul, 2019.
- [27] J. P. P. LIMA, **ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DA LIGA DE ALUMÍNIO ASTM/ABNT 1200 EM FUNÇÃO DAS CONDIÇÕES DE SOLICITAÇÃO MECÂNICA**, Belo Horizonte MG, 2016

- [28] ALLWOOD J., HOUGHTON N., JACKSON K., **The design of an incremental forming machine**, Proceedings of the 11th Conference on Sheet Metal, pp. 471-478, 2005
- [29] ABNT.NBR-6152, "**Materiais metálicos** – Ensaio de tração à temperatura ambiente.," ABNT, Rio de Janeiro, 2002.
- [30] SOUZA, S. R. de. Ensaio mecânicos de materiais metálicos. 4. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2019.