

# USO DE LAMINAÇÃO DE NORMALIZAÇÃO PARA A PRODUÇÃO DE CHAPAS GROSSAS GRAU DIN 17100 St 52.3N<sup>1</sup>

Antonio Augusto Gorni<sup>2</sup>  
Celso Gomes Cavalcanti<sup>3</sup>  
Jackson Soares de Souza Reis<sup>4</sup>  
José Herbert Dolabela da Silveira<sup>5</sup>  
Carlos Noberto de Paula Silva<sup>6</sup>

## RESUMO

A produção de chapas grossas normalizadas diretamente do calor de laminação vem despertando a atenção dos produtores de aço há mais de vinte anos, uma vez que a supressão do tratamento térmico resulta em apreciável economia nos custos de fabricação e agilização dos prazos de entrega. O objetivo deste trabalho foi dar continuidade a desenvolvimentos já efetuados na COSIPA, testando-se agora novas ligas microligadas ao Ti e TiV na produção de chapas grossas com espessuras entre 8,0 e 50,8 mm para atendimento aos requisitos da norma DIN 17100 St 52.3N, de longe a que maior participação tem no *mix* produtivo de chapas grossas normalizadas da empresa. Os resultados obtidos demonstraram que esta rota de produção é viável para esboços com espessura de até 30 mm, desde que se utilize aço ao TiV processado através de laminação controlada com recristalização. Este trabalho ainda mostra a influência dos parâmetros de processo sobre a microestrutura e as propriedades mecânicas, bem como a influência de um tratamento adicional de normalização sobre as propriedades do material obtido por esta nova rota de fabricação. Finalmente, foi verificado que a supressão do tratamento térmico de normalização proporciona uma economia de aproximadamente 10% no custo do produto final.

Palavras Chave: Laminação de Normalização, Chapas Grossas, Tratamento Termomecânico

---

<sup>1</sup> Trabalho a ser apresentado no 53º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Belo Horizonte, 13 a 17 de Setembro de 1998.

<sup>2</sup> Engenheiro de Materiais, Mestre em Engenharia, Gerência de Pesquisa e Desenvolvimento de Produto, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP. E-Mail: agorni@uol.com.br

<sup>3</sup> Técnico em Siderurgia, Gerência de Pesquisa e Desenvolvimento de Produto, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP.

<sup>4</sup> Engenheiro Metalurgista e de Qualidade (A.S.Q.C.), Gerência de Suporte Técnico à Laminação a Quente, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP.

<sup>5</sup> Engenheiro Metalurgista, Mestre em Engenharia, Gerência de Laminação de Chapas Grossas, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP.

<sup>6</sup> Engenheiro Metalurgista, Mestre em Engenharia, Gerência de Controle Integrado, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP.

## - INTRODUÇÃO

A principal característica de chapas grossas no estado normalizado consiste na relativa insensibilidade de suas propriedades mecânicas a um tratamento térmico de normalização adicional. Esta situação ocorre tipicamente em clientes que produzem peças submetidas à operações intensivas de soldagem. A rota clássica para a produção desse tipo de material inclui o tratamento térmico de normalização na usina, que consiste na austenitização da chapa e seu posterior resfriamento ao ar calmo.

Este tratamento térmico implica em custos adicionais de processamento e manuseio. Logo é desejável, tanto quanto possível, eliminá-lo para tornar o produto mais barato e reduzir seu tempo de fabricação. Estes fatores, obviamente, aumentam sua competitividade desde que, obviamente, sejam mantidas as mesmas características de qualidade do material normalizado convencionalmente.

Há mais de 20 anos as siderúrgicas mundiais desenvolveram processos de tratamento termomecânico que permitem a produção de chapas grossas no estado normalizado diretamente da laminação a quente. Este tratamento, conhecido como **laminação de normalização** é, na realidade, uma laminação efetuada sob condições controladas de temperatura. Um dos principais parâmetros a serem obedecidos é a temperatura de acabamento, que deve ser próxima à temperatura de austenitização utilizada no tratamento térmico convencional de normalização.

A principal preocupação ao se produzir chapas grossas normalizadas diretamente do calor de laminação está em se garantir que este material é equivalente ao produto normalizado por tratamento térmico convencional. Um dos critérios que podem ser utilizados com este objetivo está descrito na Norma VdTÜV 1263 3.76 [1]. Basicamente ela impõe que, após o material normalizado diretamente do calor de laminação ter sido submetido a uma normalização convencional adicional, os requisitos mecânicos constantes da norma original do material continuem sendo atendidos e que a diferença verificada no limite de escoamento não ultrapasse 50 MPa no caso de materiais com limite de escoamento mínimo menor que 355 MPa ou 60 MPa quando ele for maior ou igual a 355 MPa.

Experiências preliminares na COSIPA [2], efetuadas com um aço ao NbTi, processado através de laminação controlada com recristalização, produziram resultados animadores. Os requisitos da norma DIN 17100 St 52.3N - a que apresenta maior participação no *mix* de materiais normalizados produzidos pela COSIPA - para chapas grossas com espessura

de 19,0 mm foram razoavelmente atendidos quando a temperatura de acabamento foi igual a 860°C. Infelizmente, o valor do limite de escoamento do esboço submetido à normalização adicional ficou abaixo do especificado na norma, apesar de sua queda (de 53 MPa) ter ficado dentro dos limites aceitáveis.

A partir dos resultados obtidos ficou patente que deveria ser investigada a possibilidade de se elevar o teor de Mn e, eventualmente, de C da liga. Estas medidas permitiriam o atendimento da norma DIN 17100 St 52.3N com maior nível de segurança, utilizando-se eventualmente temperaturas de acabamento mais elevadas, o que possibilitaria suprimir ou mesmo minimizar o período de espera que geralmente se faz necessário durante a laminação de normalização, que é deletério para a produtividade do equipamento.

Outro problema a ser minimizado é a perda de resistência mecânica do material normalizado diretamente do calor de laminação após ter sido submetido à uma normalização adicional. Na verdade, até mesmo materiais normalizados convencionalmente sofrem ligeira perda de resistência mecânica ao serem re-normalizados, em função da alteração da morfologia da perlita presente na microestrutura do material, que tende a se esferoidizar [3]. Além disso, o aço estudado no trabalho anterior continha Nb. Neste caso, parte da resistência mecânica dos aços contendo Nb decorre da precipitação de carbonitretos desse elemento na ferrita. Entre os fatores que contribuíram para a queda da resistência mecânica observada após a normalização posterior do aço ao NbTi estudado pode estar o coalescimento desses precipitados, pois o Nb não se solubiliza sob as temperaturas comumente utilizadas no tratamento térmico de normalização, da ordem de 900°C [3]. A queda no limite de escoamento atingiu valor máximo (98 MPa) em materiais processados pela laminação controlada convencional, com temperatura de acabamento igual a 750°C, abaixo portanto da temperatura de não-recristalização da austenita ( $T_{nr}$ ) [2]. Isto inviabiliza totalmente o uso dessa rota para a produção de chapas grossas normalizadas diretamente da laminação a quente, a menos que o cliente dispense a necessidade de manutenção das propriedades mecânicas após normalização adicional.

Logo, o objetivo deste trabalho foi desenvolver novas ligas e processos de tratamento termomecânico que permitissem a produção de chapas grossas normalizadas diretamente do calor de laminação, atendendo às propriedades mecânicas especificadas na norma DIN 17100 St 52.3N e aos requisitos da norma VdTÜV 1263/3.76 quanto às alterações que o material sofrerá após normalização convencional adicional.

## - DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

Decidiu-se efetuar experiências objetivando-se a produção de chapas grossas normalizadas diretamente do calor de laminação com seis espessuras diferentes: 8,0; 12,7; 16,0; 25,4; 38,0 e 50,8 mm, cobrindo a maior parte do *mix* de espessuras do material produzido de acordo com a norma DIN 17100 St 52.3N. A largura dos esboços foi de 2440 mm.

O *alloy design* do aço para normalização diretamente do calor de laminação apresenta características distintas do utilizado para normalização convencional em forno. Incluiu-se Ti em função de seu efeito refinador de grão durante a laminação a quente [4]. No caso de chapas grossas leves, com espessuras de até 16,0 mm, usou-se somente esse elemento como microligante. Para chapas grossas pesadas, na faixa de espessuras entre 25,4 e 50,8 mm, também adicionou-se V, pois este último elemento se solubiliza sob as temperaturas usualmente empregadas no tratamento térmico de normalização. De fato, cálculos através de um modelo termodinâmico de solubilização para aços ao TiV [5] mostraram que, a 900°C, 90% do V total da liga deverá estar solubilizado na austenita. Desse modo, ocorrerá precipitação de carbonitretos de V durante o resfriamento ao ar da chapa após sua normalização, o que poderá minimizar a queda da resistência mecânica que se observa após esse tratamento térmico.

As placas para laminação foram obtidas através de lingotamento contínuo, em função da melhor qualidade interna que este tipo de processo confere ao material. Além disso, ele proporciona a obtenção de uma fina precipitação de TiN, que restringe significativamente o crescimento de grão durante o reaquecimento da placa.

Uma vez que se deseja obter o produto na condição de normalizado diretamente ao final da conformação a quente, deve-se garantir uma condição fundamental para a laminação de normalização: a temperatura de acabamento deve ser da mesma ordem de grandeza da utilizada durante a fase de austenitização do tratamento térmico de normalização. Desse modo, o término da laminação dos esboços deve ocorrer sob temperaturas onde a recristalização da austenita entre passes ainda ocorre de forma plena. Logo, não devem ser utilizados elementos microligantes que elevem excessivamente a temperatura de não-recristalização ( $T_{nr}$ ), o que reduziria o campo de temperaturas disponível para se efetuar a laminação. O uso de microligantes como o Ti e V é bastante oportuno neste sentido, pois seu efeito de elevação na  $T_{nr}$  é bem menor que o do Nb [6]. Isto permite abaixar significativamente a temperatura de acabamento, pois a faixa de temperaturas onde a austenita se recristaliza se torna maior.

De forma análoga ao trabalho anterior [2], decidiu-se aqui incorporar à laminação de normalização os conceitos da chamada *laminação controlada com recristalização* (“R.C.R. - Recrystallization Controlled Rolling”) na produção deste material. Este tipo de tratamento termomecânico é vital para esta rota de fabricação, pois promove sucessivas recristalizações na austenita a cada passe de laminação, refinando intensivamente seu tamanho de grão. A presença de Ti neste tipo de aço não só intensifica ainda mais o refino de grão, como também contribui para sua homogeneidade, aumentando a confiabilidade no desempenho do material [4]. O esquema de passes objetivado especificou grau de deformação real mínimo de 0,16 por passe, para garantir a plena recristalização da austenita no intervalo de tempo entre passes. Este requisito, juntamente com a aplicação de uma temperatura de acabamento acima de  $T_{nr}$ , são os fundamentos básicos da laminação controlada com recristalização.

Foram processados pelo menos seis esboços para cada condição de espessura. Após a laminação foram extraídas amostras dos esboços, no topo da segunda chapa. A seguir, os mesmos esboços foram submetidos a tratamento térmico convencional de normalização, sob escala industrial, para se verificar o nível de alteração nas propriedades mecânicas que ele provocaria no material.

Tanto os esboços laminados como os laminados e normalizados convencionalmente foram caracterizados do ponto de vista mecânico e microestrutural. Em termos de propriedades mecânicas, foram determinados os limites de escoamento/resistência e alongamento total através de ensaios de tração, bem como a curva de transição através de ensaios Charpy executados a -60, -40, -20 e 0°C. Foram também realizadas medidas de metalografia quantitativa, determinando-se a fração volumétrica de perlita e o tamanho de grão global na microestrutura dos esboços, utilizando-se um analisador de imagens automático Quantimet 600. As amostras para estes ensaios foram retiradas a  $\frac{1}{4}$  da espessura do esboço. Usou-se como ataque metalográfico uma mistura de 60% de Nital 4% mais 40% de Picral 4% para a determinação do tamanho de grão global e Picral 3% na revelação da fração volumétrica de perlita. Foram efetuadas contagens em 48 campos, garantindo-se precisão mínima de  $\pm 5\%$  nos parâmetros estereológicos.

## - RESULTADOS EXPERIMENTAIS E DISCUSSÃO

A figura 1 mostra como as propriedades mecânicas dos esboços estudados neste trabalho se alteraram com a espessura do produto, tanto no estado como laminado quanto normalizado. Como seria de se esperar, a resistência mecânica decresceu com o aumento da espessura, enquanto que o alongamento total e a resistência ao impacto aumentaram. Uma vez que a espessura inicial da placa foi mantida fixa para todos os esboços, essas constatações representam, em última análise, o efeito da redução total aplicada durante a laminação sobre as propriedades mecânicas. As correlações observadas foram metalurgicamente coerentes para o limite de escoamento e resistência. Já a verificada entre a espessura final do produto e a tenacidade foi inesperada, particularmente para os esboços mais leves. Afinal, uma vez que se espera maior refino microestrutural em materiais menos espessos, em função do maior grau de deformação total aplicado, seria lógico imaginar que os esboços mais leves apresentariam maior nível de tenacidade. Contudo, não foi isso o que foi verificado. Este ponto será discutido com maior detalhe mais adiante. O mais interessante é que o efeito foi amplificado no material submetido à normalização adicional.

Quanto ao atendimento da norma DIN 17100 St 52.3, foi verificado que o aço ao Ti como laminado satisfaz ao requisito de limite de escoamento (mínimo de 355 MPa) apenas para o esboço mais leve, com 8,0 mm de espessura. Ainda assim, após a normalização adicional, um dos esboços apresentou limite de escoamento insuficiente. Este resultado inviabiliza o uso deste aço para atendimento a esta norma. Já o aço ao TiV atendeu aos requisitos de limite de escoamento desta norma para os esboços com espessura de 25,4 mm (mínimo de 345 MPa), mas o mesmo não ocorreu para as espessuras de 38,0 mm e 50,8 mm (mínimo de 335 MPa), já na condição como laminado. Por outro lado, todos os demais requisitos de propriedades mecânicas foram atendidos por esta liga para esboços com bitola de 25,4, 38,0 e 50,8 mm, tanto na condição como laminado quanto normalizado. Note-se que os resultados de resistência ao impacto da figura 1 foram determinados a partir de corpos de prova extraídos na direção transversal do esboço, condição mais crítica que a especificada pela norma, que pede originalmente corpos de prova longitudinais.

As alterações nas propriedades mecânicas do produto provocadas pelo tratamento térmico adicional de normalização podem ser vistas na figura 2. Conforme esperado, foi verificada ligeira queda no limite de escoamento somente para os materiais mais leves, feitos a partir do aço ao Ti; apenas no esboço mais espesso desta série - com 16,0 mm - verifi-

cou-se declínio acentuado, da ordem de 32 MPa. Os demais esboços, com espessura acima de 25,4 mm, apresentaram aumento do limite de escoamento após a normalização. Esse aumento chegou a atingir 20 MPa para as chapas grossas com espessura de 25,4 e 38,0 mm, mas foi particularmente nítido para o material com 50,8 mm de espessura, variando de 10 até quase 90 MPa. Isto parece demonstrar que a normalização tende a aumentar a resistência mecânica a medida que o grau de deformação total placa-esboço, aplicado durante a laminação, decresce. Neste caso, aparentemente o efeito endurecedor do refino de tamanho de grão promovido pela normalização é significativamente maior que a perda de resistência provocada pelo coalescimento dos precipitados eventualmente existentes e pela esferoidização da microestrutura. Os requisitos da norma TÜV 1263/3.76 foram atendidos para os esboços com 25,4 mm de espessura, uma vez que a variação no limite de escoamento não ultrapassou 50 MPa [1].

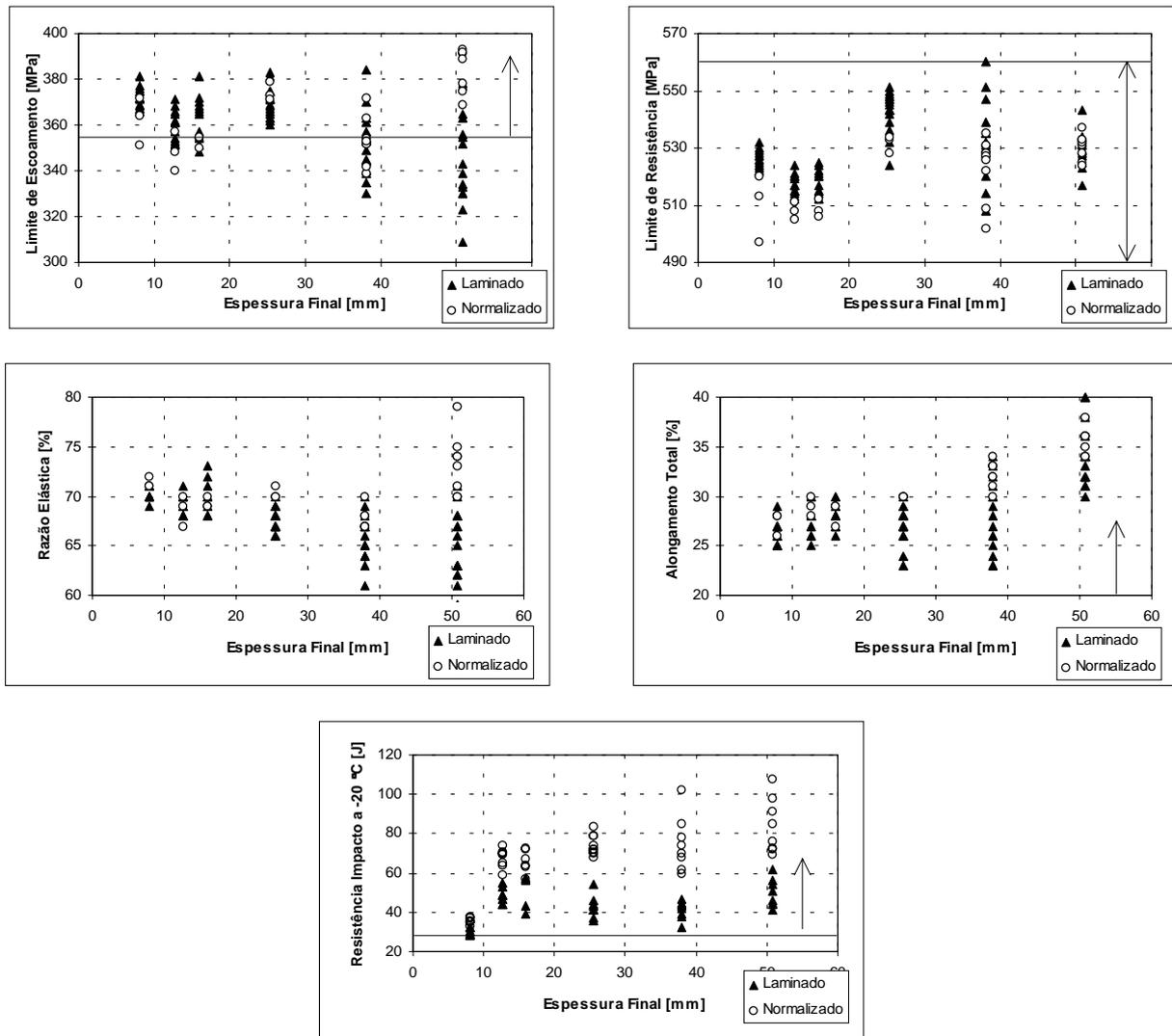


Figura 1: Correlação entre a espessura final do produto e propriedades mecânicas para os materiais estudados neste trabalho.

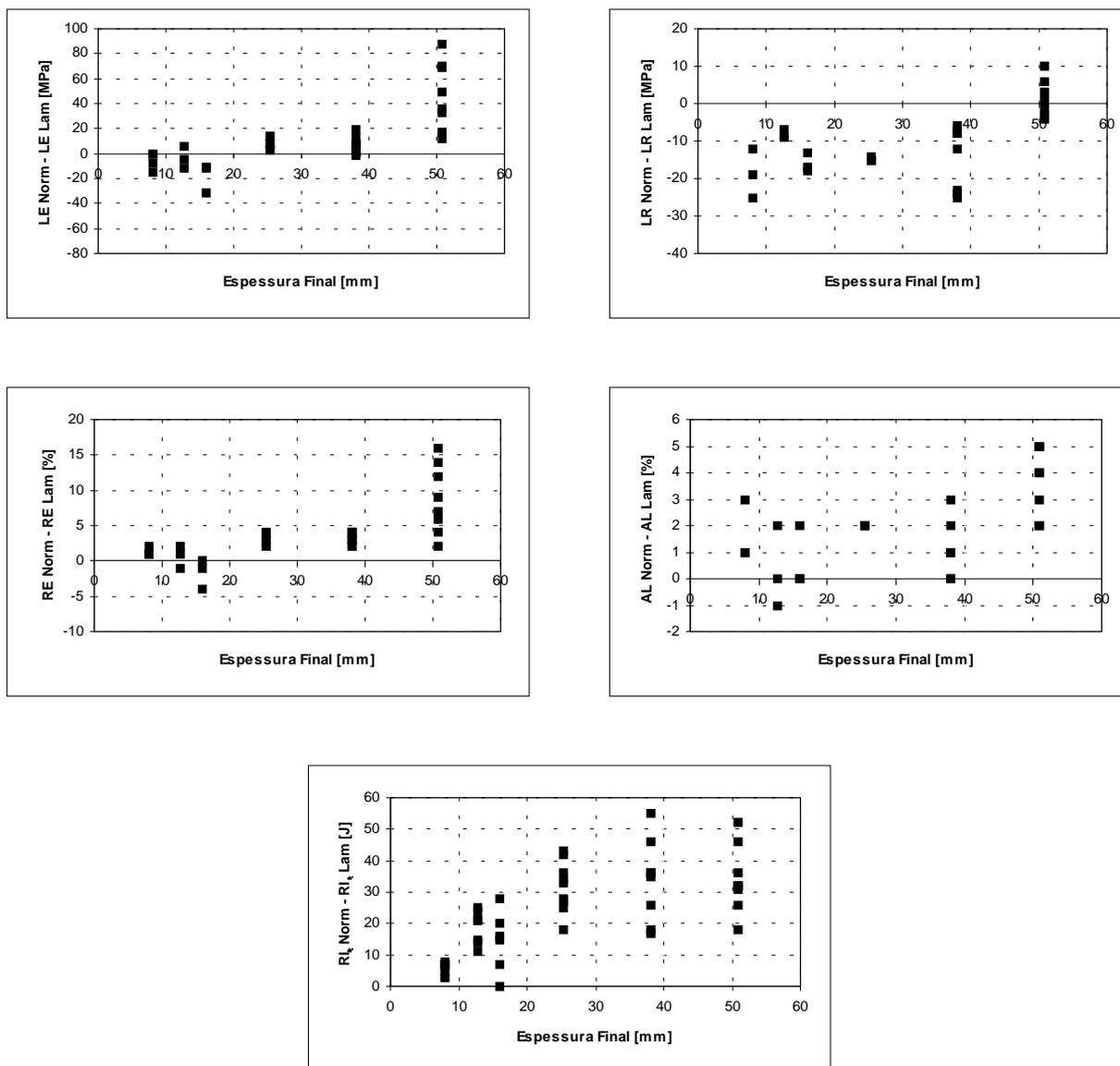


Figura 2: Alterações nas propriedades mecânicas dos esboços estudados neste trabalho provocadas pelo tratamento térmico adicional de normalização.

O efeito da normalização adicional sobre o limite de resistência foi ligeiramente diferente ao já verificado para o limite de escoamento. Houve quedas de até 30 MPa para os materiais com espessura de até 38,0 mm. A tendência se reverteu para os esboços com espessura máxima (50,8 mm), onde aparentemente houve igual tendência para o aumento ou declínio do limite de resistência, dentro de uma faixa de  $\pm 10$  MPa. Neste último caso o declínio, quando observado, foi menor que para os demais esboços.

A normalização adicional ainda provocou ligeira elevação na razão elástica, da ordem de 3 a 4 pontos percentuais, exceto para o esboço de maior bitola feito com aço ao Ti (16,0 mm), onde ela caiu ligeiramente, e também para o esboço de maior bitola feito com aço ao TiV (50,8 mm), onde esse aumento oscilou entre 2 e 16 pontos percentuais. Finalmente, verificou-se aumento tanto no alongamento total (até 3 pontos percentuais) como na energia absorvida durante o ensaio Charpy após o material ter sido submetido à normalização adicional. O aumento na tenacidade foi nitidamente maior para as chapas feitas com o aço ao TiV (entre 20 e 55 J) do que para o aço ao Ti (entre 0 e 30 J). Neste último caso, o aumento de tenacidade foi proporcional à espessura da chapa.

A figura 3 mostra as curvas de transição determinadas a partir de ensaios de impacto Charpy executados a -60, -40, 20 e 0°C, a partir de corpos de prova extraídos na direção longitudinal, para esboços tanto no estado laminado, como após normalização adicional. Mais uma vez verificou-se que, de maneira geral, esboços mais pesados apresentaram maior tenacidade. Por outro lado, é interessante notar que o esboço mais fino, com 8,0 mm de comprimento, apresentou tenacidade praticamente constante ao longo de toda a faixa de temperaturas de ensaio Charpy. Isto pode estar associado ao uso de corpos de prova reduzidos, que se fez necessário para testar materiais abaixo de 10 mm de espessura. Todas as demais bitolas apresentaram energia absorvida decrescente a medida que se abaixou a temperatura do ensaio, tanto no estado como laminado, como após normalização adicional.

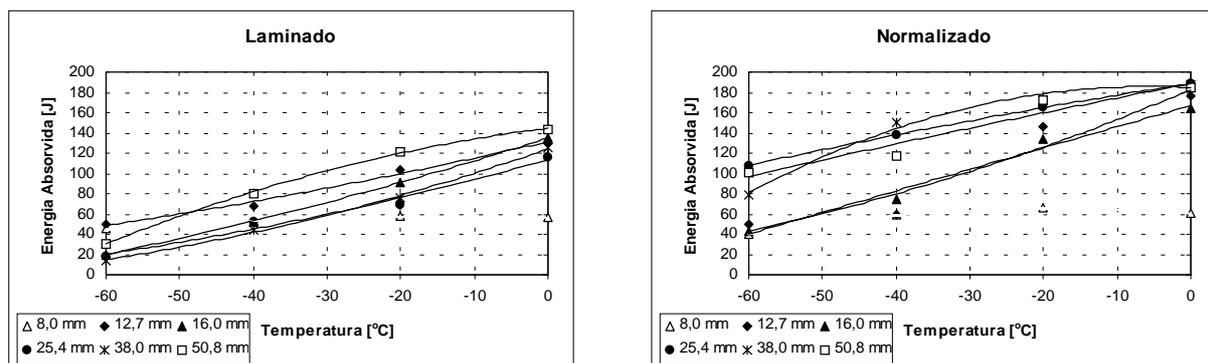


Figura 3: Curvas de transição determinadas a partir da energia absorvida nos ensaios de impacto Charpy executados a -60, -40, -20 e 0°C, em corpos de prova extraídos na direção longitudinal do esboço, para esboços como laminados e laminados com normalização adicional.

O efeito da normalização, de maneira geral, ocorreu no sentido de aumentar a tenacidade do material. Aparentemente esse efeito foi proporcional à espessura do material e, de fato, esboços com espessura de 8,0 mm praticamente não tiveram sua tenacidade alterada por este tratamento térmico. Isto parece estar ligado ao refino de grão proporcionado pela normalização. É interessante notar ainda que, no estado laminado, as curvas correspondentes aos esboços leves e pesados praticamente se misturaram. A normalização adicional, entretanto, provocou uma clara separação entre os grupos de curvas relativas à cada tipo de aço (Ti e TiV); as chapas mais leves, feitas em aço ao Ti, apresentaram valores de energia absorvida a  $-60^{\circ}\text{C}$  nitidamente inferiores aos demais esboços. Na verdade, aparentemente a normalização não exerceu seu efeito benéfico em termos de tenacidade para este grupo de chapas quando testados na faixa inferior de temperaturas. Contudo, a medida que a temperatura do ensaio se eleva, seu desempenho se aproxima do obtido pelas chapas de aço ao TiV, praticamente se misturando a  $0^{\circ}\text{C}$ , exceto no caso do esboço mais fino, com 8,0 mm de espessura.

Em termos microestruturais, o efeito da espessura final do produto, - vale dizer, do grau de deformação a quente total aplicada à placa - embora não tenha afetado a fração volumétrica de perlita, fez-se sentir sobre o tamanho de grão global dos esboços leves como laminados, conforme mostra a figura 4.

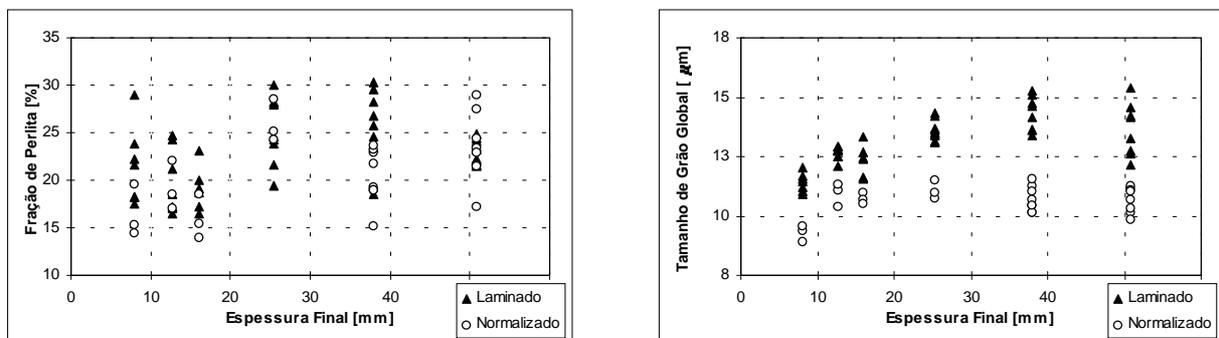


Figura 4: Correlação entre a espessura final do produto e a fração volumétrica de perlita/tamanho de grão global para os materiais estudados neste trabalho.

Na verdade, a evolução do tamanho de grão global com a espessura de produto aqui obtida está em concordância em trabalho anterior sobre o efeito da deformação a quente total sobre a microestrutura de aços microligados [7]. Ou seja, há uma tendência no sentido à estabilização do tamanho de grão global para esboços mais pesados, com espessura

acima de 25,4 mm. Do mesmo modo, não houve influência da espessura final do produto sobre a fração volumétrica de perlita.

O efeito da normalização adicional sobre os parâmetros microestruturais pode ser visto de maneira mais nítida na figura 5. A fração volumétrica de perlita não apresentou uma tendência clara de aumento ou diminuição após esse tratamento térmico. Aparentemente as alterações neste parâmetro se tornam mais amplas a medida que a espessura do produto se eleva, ocorrendo tanto aumento como diminuição da fração de perlita. Isto provavelmente decorre do menor grau de homogeneidade estrutural dos esboços mais pesados.

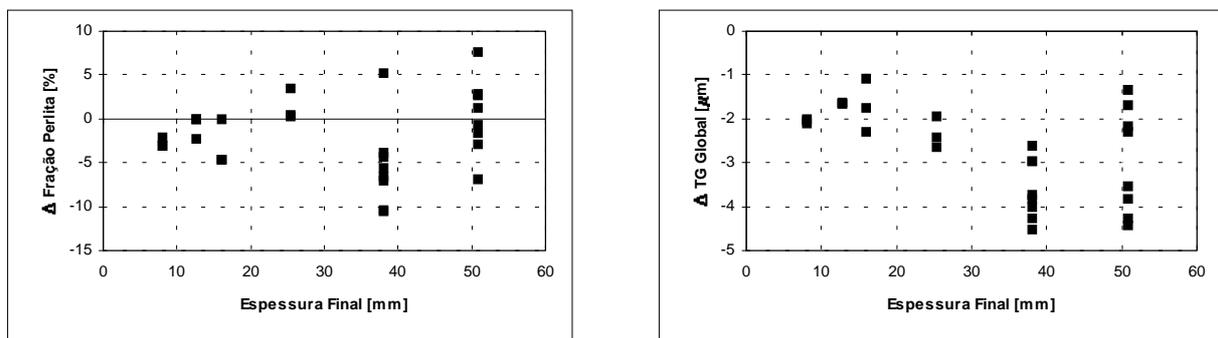


Figura 5: Alterações na fração volumétrica de perlita e no tamanho de grão global provocados pelo tratamento térmico adicional de normalização.

Por outro lado, o tratamento térmico de normalização inequivocamente promoveu refino de grão nos esboços de todas as espessuras, reduzindo seu tamanho em até 5  $\mu$ m. Nos esboços com espessura igual ou acima de 12,7 mm houve tendência à convergência no valor do tamanho de grão global, ou seja, o grau de refino absoluto proporcionado pela normalização foi maior nos esboços mais pesados.

Na verdade, a redução no tamanho de grão global das chapas grossas, proporcionada pela normalização, decorre não só do refino do tamanho de grão ferrítico, como também do esboroamento da perlita disposta em bandas presente nos esboços como laminados. Este fato, já constatado na literatura [3], foi confirmado neste trabalho. Provavelmente esta esferoidização da perlita é um dos mecanismos responsáveis pela redução do limite de escoamento e do aumento da tenacidade normalmente observados nos materiais normalizados. Por outro lado, já foi visto na figura 2 que não houve queda significativa no limite de escoamento após a normalização dos aços ao TiV. O refino de grão proporcionado pela normaliza-

ção, bem como a provável manutenção do potencial de endurecimento por precipitação do V, podem ter sido as causas deste comportamento.

De fato, a figura 6 mostra que o tamanho de grão global é uma variável muito importante na definição das propriedades mecânicas dos materiais aqui estudados. Os esboços submetidos à normalização adicional, que apresentaram grão mais refinado, tenderam a apresentar maior limite de escoamento, razão elástica, alongamento total e resistência ao impacto. Já o limite de resistência dos materiais normalizados não apresentou dependência do tamanho de grão global.

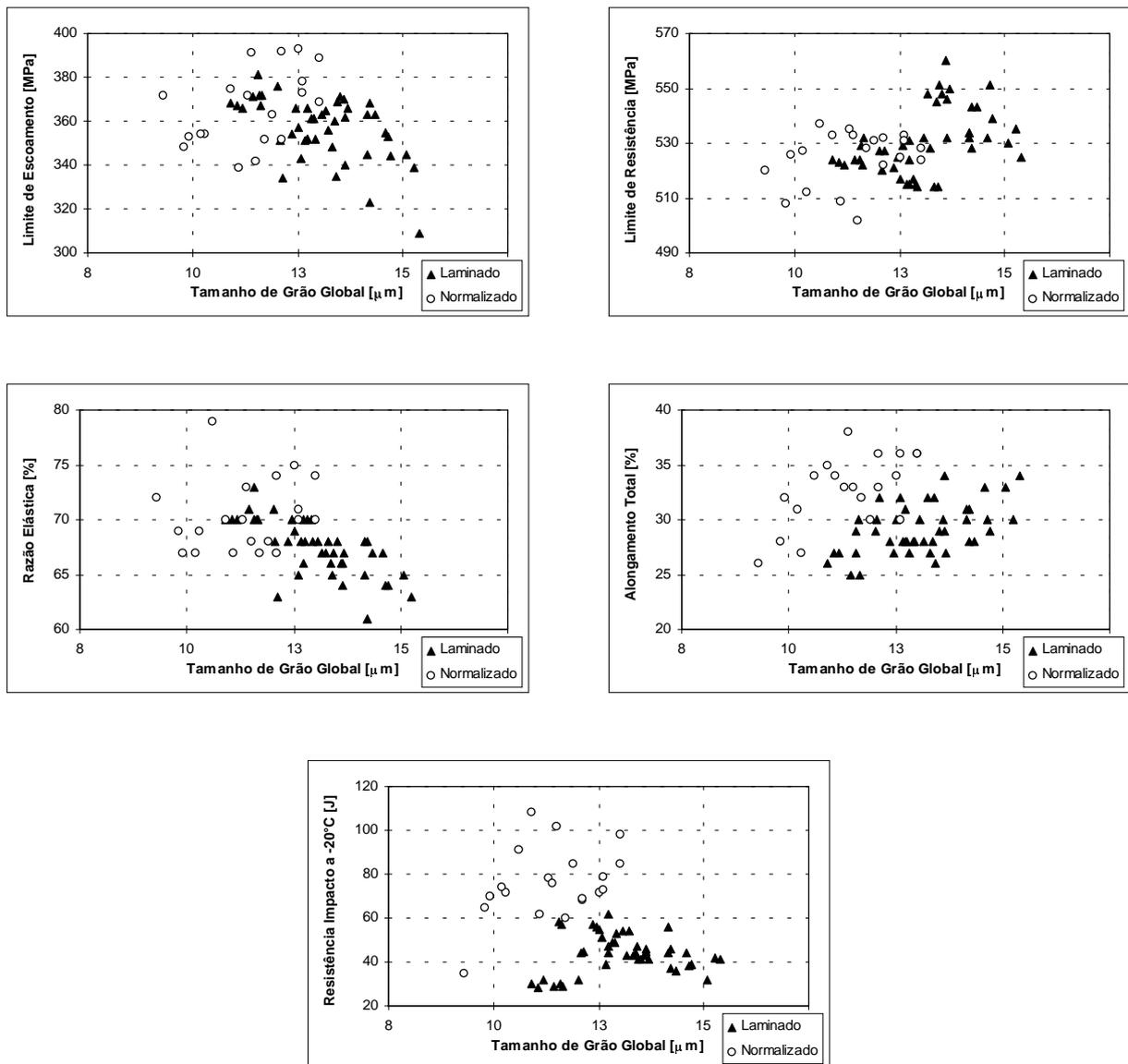


Figura 6: Correlações observadas entre o tamanho de grão global e propriedades mecânicas dos materiais estudados neste trabalho.

É interessante verificar que a influência do tamanho de grão global sobre as propriedades mecânicas é diferente quando se considera separadamente as chapas normalizadas e as como laminadas. No primeiro caso, o tamanho de grão global não influencia tanto as propriedades mecânicas. Certamente isso se deve ao pequeno valor de tamanho de grão atingido, que leva a uma estabilização nas propriedades conseguidas. Por outro lado, para as chapas como laminadas, há uma nítida dependência dessas propriedades em relação ao tamanho de grão global no caso das chapas grossas mais leves, onde a variação do tamanho de grão global com a espessura do produto foi mais intensa.

A correlação entre tamanho de grão global e resistência ao impacto para os materiais leves não foi metalurgicamente coerente, mas já era esperada, uma vez que essas chapas apresentaram melhor tenacidade a medida que sua espessura era aumentada. Uma vez que a tenacidade das chapas normalizadas foi melhor do que a de chapas como laminadas com tamanho de grão global semelhante, é bastante provável que a diminuição do grau de bandeamento na microestrutura, associado ao tratamento térmico de normalização, seja responsável por esta melhoria no desempenho do material.

Tais constatações reforçam a necessidade de se obter não só uma microestrutura refinada para este produto, bem como um grau de bandeamento minimizado.

Enfim, a partir do desempenho dos materiais estudados neste trabalho, pode-se concluir que a produção de material normalizado diretamente do calor de laminação, objetivando atendimento aos requisitos impostos pelas normas DIN 17100 St 52.3N e TÜV 1263/3.76, é viável. Aços equivalentes a essa norma DIN, como os regidos pelas normas BS 4360 50A, B, C e D, e EN 10025 S355J2G3, também podem ser produzidos conforme as recomendações acima. A economia obtida através dessa nova rota de fabricação é da ordem de 10% em relação ao processo convencional, que utiliza tratamento térmico em forno. Além disso, o tempo de fabricação do produto é sensivelmente reduzido.

## **- CONCLUSÕES**

Este trabalho teve como objetivo viabilizar a produção de chapas grossas no estado normalizado diretamente da laminação a quente, utilizando-se aços microligados ao Ti para esboços leves e ao TiV para esboços pesados, visando atendimento aos requisitos da norma DIN 17100 St 52.3N e TÜV 1263/3.76.

Os esboços mais pesados tenderam a apresentar maior tamanho de grão global, bem como menor nível de resistência mecânica e, surpreendentemente, maiores valores de tenacidade, particularmente em relação às chapas mais leves, feitas em aço ao Ti. Esta última constatação, contraditória do ponto de vista da teoria metalúrgica, pode ser atribuída ao bandeamento mais intenso presente na microestrutura das chapas mais finas.

A normalização adicional dos esboços promoveu nítido refino microestrutural. Este tratamento reduziu o limite de escoamento apenas nos esboços mais leves, feitos com aço ao Ti, onde o refino de grão não foi tão intenso. Já para os esboços mais pesados, em aço ao TiV, houve aumento nesse parâmetro, em função do refino de grão mais intenso. O limite de resistência apresentou tendência global de queda para todos os esboços estudados, exceto para os mais pesados, com 50,8 mm de espessura. O alongamento aumentou, do mesmo modo que a tenacidade, de maneira diretamente proporcional à espessura do esboço.

Os resultados obtidos a partir das curvas de transição determinadas por ensaios de impacto Charpy demonstraram que a normalização adicional também proporcionou aumento de tenacidade, particularmente para os materiais de maior bitola, feitos em aço ao TiV. Esta é uma evidência adicional do maior grau de refino microestrutural proporcionado pela normalização nos esboços mais pesados.

A análise microestrutural revelou que materiais normalizados não só apresentaram refino no tamanho de grão da matriz ferrítica, como também esboroamento da estrutura em bandas da perlita, que chegou a apresentar tendência à esferoidização. Esta alteração na morfologia da microestrutura é uma das explicações para as alterações nas propriedades mecânicas proporcionadas por este tratamento.

Foi verificado que o refino de grão influenciou claramente os valores obtidos de limite de escoamento, razão elástica, alongamento total e resistência ao impacto. Isto reforça a necessidade de se proporcionar máximo refino de grão ao esboço durante a laminação de normalização para que o produto obtido se aproxime ao máximo do estado normalizado.

Os resultados deste trabalho demonstraram que a produção de chapas grossas com espessura máxima de 30 mm, normalizadas diretamente do calor de laminação, atendendo aos requisitos da norma DIN 17100 St 52.3 e TÜV 1263/3.76, é viável, representando economia de 10% no custo do produto em relação ao processamento convencional, além da redução no tempo de fabricação do material.

## **- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. VdTÜV-Merksblatt Werkstoffe 1263/3.76, 1976.
2. GORNI, A.A. e outros. In: XXXIV SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO - PROCESSOS E PRODUTOS LAMINADOS E REVESTIDOS. Anais. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Belo Horizonte, Agosto de 1997, 479-498.
3. TSUKADA, K. e outros. Nippon Kokan Technical Report Overseas, 32, 1981, 1-11.
4. DE BOER, H. e outros. Thyssen Technische Berichte, 2/1989, 135-146.
5. GORNI, A.A. In: SPREADSHEETS IN SCIENCE AND ENGINEERING. Springer-Verlag, Heidelberg, 1998, 237-269.
6. BORATTO, F. e outros. In: THERMEC '88. Proceedings. Iron and Steel Institute of Japan, Tokyo, 1988, p. 383-390.
7. GORNI, A.A. e outros. In: 50° CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS. Anais. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, São Pedro SP, Agosto de 1995.

## **- ABSTRACT**

### **USE OF NORMALIZING ROLLING FOR THE PRODUCTION OF DIN 17100 St 52.3N PLATES**

The production of normalized steel plates directly from the rolling heat was developed abroad more than 20 years ago, as the suppression of such heat treatment can lead to significant cost reduction and anticipation of delivery dead-lines. This work describes the continued progress of COSIPA in this field, which included the development of new Ti and TiV microalloyed steels for the production of 8,0 and 50,8 mm gauge plates according to the DIN 17100 St 52.3N standard. This grade dominates the production share of normalized steel plate in COSIPA. The results got in this work showed that this production route is feasible for the production of plates with thickness up to 30 mm according to that standard, using TiV microalloyed steel processed through recrystallization controlled rolling (RCR). This work also shows the influence of thickness over microstructure and mechanical properties of the as-rolled product, as well the effect of an additional normalizing treatment. The suppression of the normalizing heat treatment allows a 10% decrease in the final product cost and shorter delivery times.

Keywords: Normalizing Rolling, Steel Plates, Thermomechanical Treatment