

**FACULDADE DOCTUM DE JOÃO MONLEVADE
INSTITUTO ENSINAR BRASIL – REDE DOCTUM DE ENSINO**

**CONDICIONANTES PARA A FORMAÇÃO DE ROMBOIDADE NO
LIGONTAMENTO CONTÍNUO DE AÇO**

Yuri Faustino Maia Campos*

Marco Túlio Domingues Costa**

RESUMO

A qualidade dos produtos finais é algo que todas as empresas prezam, nas siderúrgicas existe uma grande preocupação e um grande controle de tais problemas. Porém, mesmo assim tende a surgir defeitos como a romboidade, que é a quando o tarugo apresenta diagonais diferentes, sendo que esse defeito se manifesta no lingotamento contínuo. Por isso, este trabalho propõe as seguintes perguntas, quais são os principais condicionantes de romboidade de tarugos no lingotamento contínuo de uma empresa siderúrgica? Quais variáveis de processo podem ser associadas a esse fenômeno? Para responder essas perguntas determinou-se o seguinte objetivo geral, realizar uma análise sobre o defeito que ocorrem nos tarugos de aço chamado de romboidade, avaliando as condicionantes de formação e quais variáveis do processo que estão ligadas a este defeito. Determinou-se também os seguintes objetivos específicos, conhecer o processo da aciaria e o lingotamento contínuo e avaliar a romboidade e suas causas. Conhecer as causas da romboidade é importante para produzir produtos melhores e com mais qualidade, permitindo que a empresa se torne mais competitiva. Por isso, realizou-se um levantamento consultando os resultados dos principais trabalhos que tratam sobre a romboidade. Por meio disso foi possível constatar que a romboidade é causada pelo resfriamento ineficiente e a distorção do molde, sendo necessário controlar esses processos durante a laminação para evitar esse tipo de defeito.

Palavras-chave: Romboidade. Aciaria. Lingotamento Contínuo.

* Bacharelado em Engenharia de Produção da Faculdade Doctum de João Monlevade; yuri-fmc@hotmail.com

**Professor da Rede Doctum, graduado em Engenharia de Produção e pós-graduado em Segurança do Trabalho; marcotuliodcosta@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

A busca pela garantia de qualidade nos produtos e serviços é um dos fatores decisivos na competitividade das empresas, esta exigência incentiva o aperfeiçoamento do produto. As empresas precisam buscar maneiras de aperfeiçoar seu processo a fim de evitar que falhas ocorram, comprometendo a qualidade do produto acabado. Um defeito muito encontrado no lingotamento contínuo é a romboidade, que compromete a geometria do produto, gerando grandes perdas financeiras para as organizações.

No lingotamento contínuo de aço, um dos problemas existentes é a romboidade de tarugos, esse problema pode ser definido como uma alteração geométrica da peça, no qual as dimensões das diagonais do tarugo são diferentes. Infelizmente este defeito só pode ser identificado ao final do processo de lingotamento contínuo. Por isso, este trabalho propõe as seguintes perguntas, quais são os principais condicionantes de romboidade de tarugos no lingotamento contínuo de uma empresa siderúrgica? Quais variáveis de processo podem ser associadas a esse fenômeno?

Para responder essas perguntas determinou-se, como objetivo geral, realizar uma análise sobre o defeito que ocorre nos tarugos de aço chamado de romboidade, avaliando as condicionantes de formação e quais variáveis do processo que estão ligadas a este defeito. Determinou-se também os seguintes objetivos específicos, conhecer o processo da aciaria e o lingotamento contínuo e avaliar a romboidade e suas causas.

Com o advento da tecnologia do lingotamento contínuo, vários aspectos positivos foram constatados pela indústria metalúrgica, principalmente em relação à qualidade dos produtos obtido no processo. Este processo advém da utilização de três fontes: panela, que recebe o aço que vem da etapa de refino (feita na aciaria) e alimenta o distribuidor do lingotamento contínuo; o distribuidor, que tem como finalidade manter o nível de aço durante as trocas das panelas e a distribuição nos veios para alimentar os moldes; e o molde, onde ocorre a solidificação do metal, formando tarugos que posteriormente serão laminados. Por isso, detectar quais são as variáveis do processo que incorrem na formação da romboidade tem uma importância elevada para que se possa diminuir as perdas de produção, e com o conhecimento destas variáveis poder produzir um produto com qualidade superior.

Esta pesquisa foi de natureza aplicada, uma vez que, houve aplicação prática prevista para ela. A abordagem qualitativa foi utilizada para analisar os dados, no que diz respeito aos objetivos, esta pesquisa é explicativa. Esta pesquisa é de levantamento, uma vez que, estudou-se fatores que favorecem o aparecimento da romboidade, quais as características da romboidade e como preveni-la. A coleta de dados ocorreu no setor de laminação de uma indústria de grande porte, pelo método de observação, nesse sentido, a coleta de dados se deu em lotes de produção específicos. Os relatórios obtidos com a observação foram analisados e comparados com as pesquisas bibliográficas citadas anteriormente. Foram analisadas e comparadas obras de diversos autores, demonstrando a importância de conhecer quais as variáveis do processo que acarretam nos defeitos, analisando as melhores soluções para a redução de perdas encontradas na usina siderúrgica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

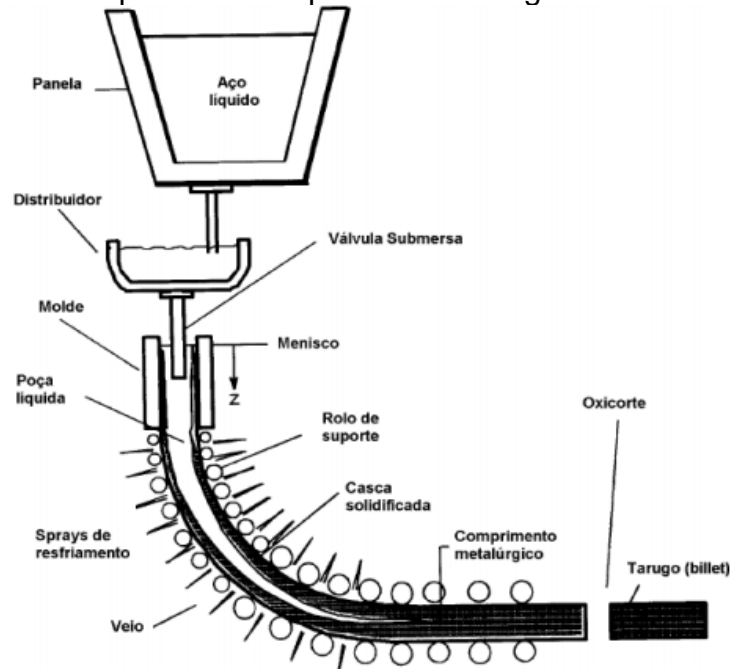
A seguir apresenta-se o referencial teórico que serviu de base para este artigo, para isso, abordou-se o processo da aciaria e o lingotamento contínuo, além da romboidade e suas causas.

2.1 Processo de aciaria e lingotamento contínuo

O lingotamento contínuo de aços foi um grande avanço no setor de aciaria, possibilitando mais agilidade no processamento do aço. Segundo Thomas (2001), a principal função do lingotamento contínuo é transformar o aço líquido em uma barra metálica sólida, de forma contínua. Esse processo é o mais eficiente quando se trata da solidificação de grandes volumes de metais, com isso é possível fabricar formas mais simples que permitem o processo de laminação posterior. No lingotamento contínuo o aço é transferido (vazamento) de uma grande panela metálica para um reservatório, conhecido como distribuidor. Vale ressaltar que o distribuidor tem a capacidade de armazenar um volume suficiente de aço líquido para que ocorra o

fluxo contínuo no molde. A figura 1 mostra o processo de lingotamento contínuo de forma esquemática.

Figura 1: Esquemático do processo de lingotamento contínuo



Fonte: Thomas (2001)

O lingotamento contínuo é relativamente novo em termos históricos, segundo Samarasekera (1982) ainda que o processo tenha sido concebido por Henry Bessemer em 1858, não teve efetiva difusão até os anos da década de 1960. A primeira proposição para uma máquina de lingotamento contínuo com projeto básico correspondente ao atual, foi formulada na Alemanha em 1887 por R. M. Daelen. O projeto incluía molde refrigerado à água, aberto nas partes superior e inferior, alimentado por um jato de metal líquido, uma zona de refrigeração secundária, barras falsas, rolos extratores e mecanismos para corte do produto. As primeiras tentativas sofreram dificuldades técnicas como problemas de agarramento da pele de aço solidificada seguida da sua ruptura, fenômeno mundialmente conhecido como “*breakout*”, e que foi reduzido pelo uso de moldes com movimento oscilatório criados por Siegfried Junghans na Alemanha. Este modelo foi inicialmente implantado para lingotamento de latão em 1932 e para lingotamento de aço em 1947.

De acordo com Cavalcanti (2012), até meados de 2004, havia no Brasil, quinze máquinas de lingotamento contínuo de placas em operação com vinte e

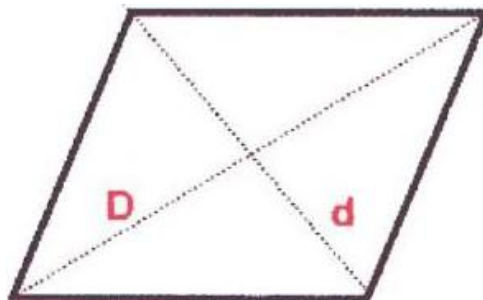
quatro veios, e vinte e três máquinas em operação de lingotamento contínuo de tarugos, com aproximadamente setenta veios. O lingotamento contínuo de aço é reconhecido como um processo padrão na produção de lingotes devido ao aumento de rendimento e grandes benefícios relacionados a custos operacionais.

2.2 A romboidade e suas causas

Diversos são os defeitos que podem ocorrer no lingotamento contínuo e eles têm seus mecanismos de formação diretamente ligados aos mecanismos de transferência de calor e de solidificação, os defeitos superficiais típicos presentes nas placas produzidas via lingotamento são (AISE Steel Foundation, 2003): defeito de forma; romboidade; empeno; defeitos superficiais; emenda; pele dupla; entre outros.

A romboidade é um problema que ocorre desde que foi criado o método de lingotamento contínuo de aços, a caracterização desse defeito é compreendida de forma clara como dispõe Araújo (1997). O autor afirma que durante o processo de fabricação de aços longos, utilizando o lingotamento contínuo, a romboidade é um defeito muito comum, que afeta os índices de qualidade das aciarias no mundo todo. Segundo Santos (2013) a romboidade é um defeito ligado à forma do material, no qual a barra quadrada fica com as dimensões das suas diagonais diferentes, conforme exemplificado na figura 2.

Figura 2: Exemplo de um tarugo romboide



Fonte: Santos (2013)

A romboidade pode ser determinada pela diferença das diagonais da seção transversal de um tarugo. Se as diferenças das diagonais ultrapassarem cerca de 6 mm a 8 mm, a romboidade é considerada como severa. Medias (2012) complementa que, apesar de a romboidade ser um problema conhecido desde os primeiros tempos do lingotamento de tarugos, durante a última década, em diversos equipamentos (de concepção moderna) esse defeito de forma tem ocorrido com mais frequência, exigindo trabalhos de melhorias constantes para poder minimizá-lo.

A romboidade pode ser calculada utilizando uma simples equação que relaciona as dimensões de um tarugo, a equação 1 descreve esse fenômeno:

$$\text{Romboidade (mm)} = D - d \quad (1)$$

na qual:

D = maior diagonal e,

d = menor diagonal.

A romboidade também pode ser expressa em porcentagem, como pode ser observado na equação 2:

$$\text{Romboidade} = \frac{D - d}{d} * 100\% \quad (2)$$

Estudos vem sendo desenvolvidos para diagnosticar os causadores da romboidade no processo de lingotamento contínuo, Voltz (2015), afirma que, o teor de carbono existente nos aços pode influenciar na romboidade. Em aços com médio teor de carbono, a probabilidade de ocorrer a romboidade é maior quando comparado com aços com alto ou baixo teor de carbono. Ao contrário de aços com baixo teor de carbono, que tendem a ter menor extração de calor no molde, os aços com médio teor de carbono apresentam altas taxas de transferência de calor no menisco, uma vez que não tem uma pele rugosa, que é formada na reação peritética.

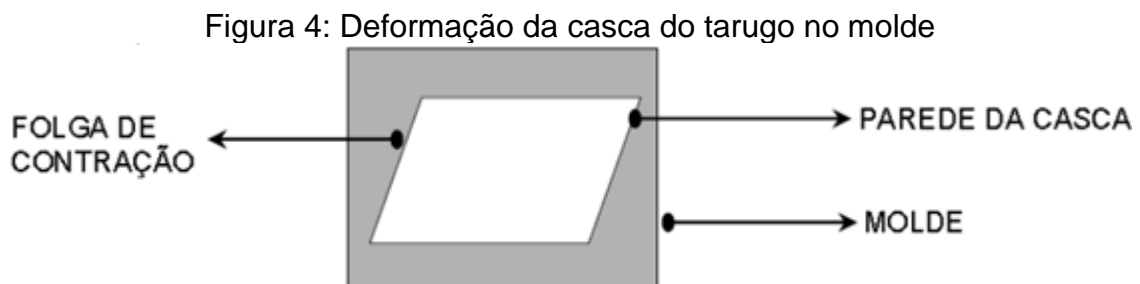
Santos (2013) afirma que os mecanismos de formação do romboide se dão durante o início da solidificação, a casca, no interior do molde tende a contrair, porém, ela não consegue devido à pressão exercida pelo metal líquido em seu interior. Com a evolução da solidificação a espessura da casca aumenta, gerando

uma folga de contração, isso ocorre, pois a velocidade de solidificação nas quinas do tarugo é menor quando comparada com a velocidade de solidificação da parede. Assim, uma casca fina é formada, gerando gaps nas quinas do metal solidificado, conforme mostra a figura 3.



Fonte: Santos (2013)

Caso a folga da contração seja maior nas quinas, as forças de contração irão atuar com mais intensidade nesses locais, assim, as quinas que estão nas regiões de casca mais fina serão deformadas. Essa força gerada durante a solidificação é heterogênea, ou seja, ela não é igual em todo o tarugo, as forças de contração irão provocar uma distorção da casca situada do lado oposto (com a menor casca), dessa forma, o tarugo ficará com a forma romboidal (SANTOS, 2013). Nos aços, a força de contração comprime o núcleo do material, com isso, a casca se deforma, como ilustra a figura 4.



Fonte: Santos (2013)

Essa situação piora quando o tarugo deixa o molde, uma vez que, no interior do molde as deformações são geradas apenas pelas folgas de contração, quando o material sai e vai para a refrigeração secundária as deformações tendem a aumentar. Esse fenômeno evidencia o fato de os moldes apresentarem maior

resistência à deformação, quando comparado aos rolos endireitadores da refrigeração secundária (SANTOS, 2013).

Em contrapartida, Samarasekera (1982) diz, que a romboidade é originária de duas etapas do processo. Primeiro é a distorção do molde, que se dá pelo aquecimento assimétrico do molde no lingotamento contínuo, dessa forma ocorre o defeito geométrico denominado romboidade, que pode ter as seguintes causas: espessura irregular das paredes de cobre, diferença no gap da interface dos moldes, falta de água durante a refrigeração, além de erros na dimensão dos moldes durante sua fabricação, bem como o resfriamento deficitário nos chuveiros. A não uniformidade do resfriamento também pode gerar romboidade, sendo, normalmente, gerada pelas diferenças na posição dos chuveiros, velocidade com que a água sai, dentre outros fatores, com isso, a solidificação do tarugo não é uniforme.

Voltz (2015) afirma ainda que o surgimento da romboidade pode ocasionar o aparecimento de outros defeitos como a romboidade severa, que é causa pela dificuldade em se movimentar os tarugos durante o reaquecimento, principalmente em fornos empurradores. Durante a laminação pode haver a formação de dobras nos cantos, o que gera gerando costuras no produto final. Além disso, outros tipos de defeitos, como, as trincas diagonais podem ocorrer e, estas podem estar associadas à romboidade.

Santos (2013, p. 32) afirma que a romboidade pode ser afetada por quatro fatores:

- a) Resfriamento desigual dos lingotes no molde: esse fenômeno pode ocasionar o surgimento de trincas longitudinais, uma vez que, haverá pontos isolados com altas temperaturas. Isso se dá pela formação de gaps de ar no local, má distribuição de fluxante no molde ou pela erosão da casca sólida (oriunda do fluxo de metal líquido).
- b) Variações nas dimensões dos moldes: isso pode ocorrer devido ao abaulamento e/ou desgaste do menisco. A distorção dos moldes está ligada ao resfriamento desigual do molde no lingotamento contínuo, formando assim tarugos romboides.
- c) Lubrificação do molde: normalmente os moldes utilizados no lingotamento contínuo são utilizados em substituição aos pós fluxantes devido a melhor transferência de calor. Quando a lubrificação é insuficiente, ocorrem defeitos nos tarugos (uma alternativa para solucionar esse problema é sempre verificar os canais de alimentação de óleo).
- d) Falta de resfriamento nos chuveiros: devido a baixa ductilidade em altas temperaturas (700 ~ 900°C), os aços tendem a apresentar defeitos quando passam pelos chuveiros, isso é agravado quando há bicos entupidos, diferenças no posicionamento de chuveiros e alteração na velocidade de saída de água, assim, o tarugo se solidifica de modo não uniforme, podendo ficar com o formato romboide.

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa é de natureza básica, uma vez que, não houve aplicação prática efetiva, se restringindo a análise de diversos estudos a respeito do tema delimitado. Gil (2008) afirma que as pesquisas básicas geram mais conhecimentos úteis para a sociedade, nesses modelos não existe uma atividade prática prevista para a pesquisa desenvolvida.

A abordagem qualitativa foi utilizada para analisar os dados, segundo Marconi e Lakatos (2017), essa abordagem não se baseia em dados estatísticos para analisar os dados, apenas em técnicas qualitativas, buscando compreender e descrever os fatos de diferentes formas, como, a investigação de documentos.

No que diz respeito aos objetivos, esta pesquisa é explicativa, de acordo com Gil (2008) essa técnica permite explicar o porquê de algo, qual o motivo de um fenômeno ocorrer. Isso se dá por meio de aprofundamento em uma realidade e está diretamente ligada às aplicações práticas. Neste trabalho, o objetivo é explicar porque a romboidade ocorre e quais são os fatores que tem proporcionado o seu surgimento.

Esta pesquisa foi de levantamento, uma vez que, estudou-se fatores que favorecem o aparecimento da romboidade, quais as características da romboidade e como preveni-la. Garces (2019) afirma que as pesquisas de levantamento consistem em levantar informações e dados, sendo caracterizado pelo questionamento direto dos sujeitos que se deseja analisar, estudando as fontes primárias a fim de compreender diretamente as causas de um problema. A coleta de dados se deu considerando os principais trabalhos que abordaram o assunto.

4 ANÁLISE DOS DADOS

A Quadro1 apresenta os trabalhos analisados neste artigo para avaliar as causas da romboidade.

Quadro1: Trabalhos analisados que tratam da romboidade

Título	Autor (es)	Ano
Estudo de caso: caracterização da romboidade nos tarugos Sinobras e avaliação dos principais parâmetros intrínsecos ao defeito geométrico	Santos	2013
Estudo do desempenho de molde texturado no lingotamento contínuo de tarugos	Silva	2016
Influência das particularidades da solidificação na qualidade de tarugos e placas de diferentes teores de carbono	Madias	2013
Influência dos parâmetros de processo na ocorrência de romboidade em tarugos de aço de médio teor de carbono produzidos via lingotamento contínuo na ArcelorMittal Cariacica	Voltz	2015
Melhoria no rendimento de ferro-ligas e dos processos de desoxidação e dessulfuração com a utilização de carbureto de cálcio	Goulart <i>et al.</i> , 2015	2015
Uma revisão do problema de romboidade no lingotamento contínuo de tarugos	Madias	2012

Santos (2013) analisou aços 1020 e 1040, porém, a autora observou que o teor de carbono não afetava o surgimento de romboidade nesses aços, uma vez que, esse efeito surgia em ambos os materiais. Outro ponto estudado foi a relação Mn/S, que, quando ultrapassa um determinado limite de 25% favorece o surgimento da romboidade. A autora avaliou ainda a quantidade de veios em operação e constatou que dos três veios que operavam na empresa estudada, todos tiveram elevados índices de romboidade, esse fato demonstrou que o aparecimento deste defeito não podia ser diretamente associado aos veios.

Santos (2013) avaliou ainda se os processos estavam contribuindo para a formação da romboidade, porém, não foi constatado disparidades nas corridas, demonstrando que o processo de produção não contribuía para o surgimento desse problema. Analisou-se ainda o dimensionamento dos moldes a fim de compreender sua deformação e a sua influência na formação de tarugos romboides, o que se percebeu foram grandes diferenças nas paredes dos moldes, o que fazia com que houvessem gradientes de temperatura no molde (o que não é recomendado), ocasionando o surgimento de tensões irregulares de solidificação, favorecendo o surgimento do problema. Analisando-se ainda os moldes constatou-se que sua vida

útil já estava ultrapassada (mais do que 400 corridas por molde, ultrapassando o limite aceitável pela empresa). Criou-se padrões de inspeção e manutenção dos moldes, além da sua substituição, com isso conseguiu-se reduzir a romboidade.

Outro fator avaliado por Santos (2013) foi a influência da temperatura e da vazão da água do molde na ocorrência de romboidade, constatou-se que ela estava dentro do padrão com a vazão variando entre 1560 a 1640 litros por minuto, além de uma variação entre 5 e 8 graus na entrada e na saída. No que tange ao alinhamento dos rolos, foi possível observar um desalinhamento na sua centralização, formando cascas de temperaturas diferentes, gerando um resfriamento deficiente. Esse problema foi solucionado fabricando e instalando novos rolos guias que mantiveram o veio centralizado, diminuindo a ocorrência de romboidade.

Santos (2013) estudou a qualidade e a disposição dos bicos *sprays* de jatos, o que se observou é que haviam muitos bicos entupidos devido à impureza da água, fazendo com que a aspersão se tornasse ineficiente, não resfriando adequadamente o material. Este foi um dos fatores que contribuiu para o surgimento da romboidade. Esse problema foi solucionado implementando programas de manutenção e reparo na câmara de *spray* a fim de realizar a higienização dos bicos entupidos.

Silva (2016) avaliou a influência da utilização de moldes em um mesmo veio a fim de eliminar possíveis interferências nos veios. Com isso, o autor constatou que houve uma diminuição da romboidade e que a variação de veio para veio se deu devido a diferenças operacionais, como bicos entupidos, desalinhamento dos *sprays*, molde sem refrigeração adequada, dentre outras coisas. A utilização de moldes testes texturados pelo autor demonstraram que a romboidade diminuiu quando comparado com o molde normal, apresentando um desvio padrão de 3,16 no molde normal e 2,68 no molde teste texturado. Isso pode ser associado a fatores como, um menor fluxo de calor, um crescimento uniforme da casca, dentre outras coisas.

Voltz (2015) estudou a influência dos parâmetros de processo na ocorrência de romboidade em tarugos de aço de médio teor de carbono produzidos via lingotamento contínuo na ArcelorMittal Cariacica. O autor afirma que esse defeito é detectado apenas no final do processo por meio de uma inspeção visual e com a utilização de instrumento de medidas, quando necessário. O autor afirma que o tarugo só é sucateado quando a romboidade é severa, ou seja, quando a diferença das diagonais for superior a 13 milímetros. O autor afirmou que em seu trabalho não

houveram tarugos sucateados, sendo observado ainda que os veios não influenciam na romboidade da siderúrgica, foco do seu estudo. Foi possível constatar ainda que a resposta à romboidade foi mais influenciada pela vazão de água no molde e pela válvula calibrada de troca rápida. Afirma-se ainda que ao se elevar a vazão de água no molde e a velocidade de lingotamento reduz-se a romboidade.

Voltz (2015, p.80) afirma que:

- O aumento da vazão de água do molde aliado ao aumento da velocidade de lingotamento contribuiu para reduzir a romboidade em até 5 mm;
- O aumento da taxa de lubrificação aliado ao aumento da velocidade de lingotamento contribuiu para redução da romboidade em cerca de 3 mm;
- A utilização de um molde com número de corridas menor que 100 associado ao aumento da velocidade de lingotamento contribuiu para reduzir a romboidade em cerca de 6 mm;
- O aumento da taxa de lubrificação aliado ao aumento da vazão de água do molde reduziu a romboidade em cerca de 3 mm;
- A utilização de um molde com número de corridas menor que 100 associado ao aumento da vazão de água do molde contribuiu para reduzir a romboidade em até 6 mm;
- A utilização de um molde com número de corridas menor que 100 juntamente com o aumento da taxa de lubrificação contribuiu para redução da romboidade em cerca de 4 mm.

Madias (2013) afirma que a romboidade ocorre, principalmente, em aços com médio teor de carbono, sendo que em aços baixo e alto carbono isso não é um problema relevante. Acredita-se que esse fenômeno em aços médio carbono ocorre devido às elevadas taxas de transferência de calor quando comparado com os aços com baixo teor de carbono.

Goulart *et al.* (2015) avaliaram como a romboidade é afetada pela relação Mn/S. Os autores afirmam que a dessulfuração eleva a relação Mn/S quando se tem baixos teores de Mn, com isso, diminui-se a fragilidade a quente e a formação de FeS, o que contribui para a diminuição da romboidade em aços médio carbono durante o lingotamento contínuo.

Madias (2012) afirma que esse problema tem ocorrido com muita frequência, mesmo com a modernização dos lingotadores contínuos. O autor afirma que o molde é o principal elemento que contribui para a formação de tarugos romboides, ele acredita que esse fenômeno ocorre nos primeiros centímetros da solidificação, que são relacionados com a ineficiência da transferência de calor no molde (resfriamento primário não uniforme) e com o tipo de aço (médio carbono).

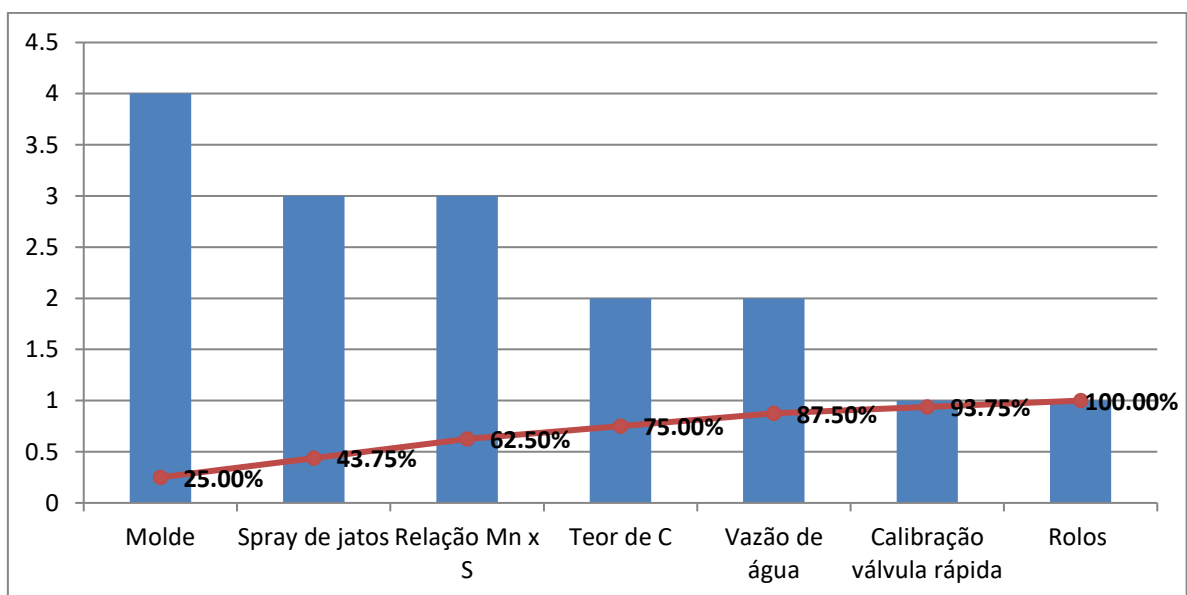
Após analisar os trabalhos acima foi possível observar as principais causas de romboidade observada pelos pesquisadores. As principais causas são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2: Causas de romboidade

Autor (es)	Causas						
	Spray de jatos	Teor de C	Relação Mn x S	Molde	Vazão de água	Calibração válvula rápida	Rolos
Santos (2013)	X	X	X	X	X		X
Silva (2016)	X			X			
Voltz (2015)				X	X	X	
Madias (2013)	X	X					
Goulart et al. (2015)			X				
Madias (2012)		X		X			

O Gráfico 1 demonstra a quantidade de causas de romboidade relatadas pelos autores analisados nesta pesquisa. Por meio desse gráfico foi possível levantar quais são as causas que mais ocorrem nos laminadores, com isso, os profissionais da área da laminação poderão atuar diretamente para eliminar esses problemas, uma vez que, eles saberão quais são as principais causas de romboidade dos aços.

Gráfico 1: Principais causas da romboidade



O Gráfico 1 é um diagrama de Pareto que aponta a quantidade das principais causas relatadas pelos pesquisadores estudados neste artigo. Foi possível observar que a maior parte das sete causas relatadas são associadas ao molde, que pode gerar gradientes de temperatura ou podendo estar mal dimensionados. Dos 16 relatos, quatro (25% dos casos) foram relacionados a esse problema. Em segundo lugar vieram os *sprays* de jatos e o teor de carbono, com três ocorrências (18,8% dos casos cada causa) relatos cada. No que se refere aos *sprays*, as principais queixas foram a falta de manutenção e também o entupimento dos bicos. No que tange ao teor de carbono, os autores observaram que os aços com médio teor de carbono eram mais suscetíveis à romboidade.

Após esse problema vieram a relação Mn/S com duas ocorrências (12,5% dos casos relatados) queixas cada. A relação Mn/S precisa ser baixa, ou seja, é preciso ter menos S para diminuir a romboidade. E, por fim, vieram a vazão de água, a calibração da válvula rápida e os rolos, com um relato cada um (6,3% cada). Quanto à vazão de água, esse relato pode ser associado ao entupimento dos bicos, que não resfriavam adequadamente o material, gerando a romboidade. Quanto à calibração da válvula rápida, percebido como condição essencial para evitar que houvesse romboidade. E, por fim, quanto aos rolos, a principal causa de romboidade associada a eles foi o desalinhamento que gerou o problema nos produtos acabados.

Para minimizar a romboidade é preciso estar atento ao processo, principalmente no que se refere ao molde. Isso porque ele apresentou os maiores índices de queixas, com isso, é preciso avaliar sua planicidade a fim de assegurar que eles estejam totalmente simétricos, evitando o surgimento deste problema. Além disso, consegue-se minimizar os gradientes de temperatura que ocorrem no interior do molde. A maioria dos casos relatados pelos pesquisadores são associados à manutenção, ou seja, é preciso que sejam realizadas manutenções periódicas nos moldes, nos *sprays*, dentre outros dispositivos para evitar o surgimento da romboidade.

O Quadro 3 ilustra algumas medidas que foram implementadas por algumas siderúrgicas para minimizar a romboidade. Madias (2013) afirma que existem várias causas para a romboidade, porém, os mais comuns são, o jato descentralizado, a camisa de água não alinhada, ao se corrigir esses problemas consegue-se minimizar a romboidade.

Quadro 3: Medidas adotadas por algumas siderúrgicas para minimizar a romboidade

	ArcelorMital Piracicaba	Gerdau Açominas	Votorantim Resende	ArcelorMital Monlevade
Sistema ling.				Jato submerso
Metalurgia		Baixar S_{obj} 35% $T_{power\ on\ FP} > 15\ min$ $T_{vaz} > p/$ corrid sem FP Sobreaq. 25-30°C	Mn/S > 30 De 1.027 a 1.030 Sobrear. 25+/- 10°C	Baixar sobreaq.
Distribuidor		Montagem válvulas		
Vida molde	4.000 min máximo	Insp. Às 60 corr.; 120 corr.: outros aços	200 corridas: derivar para outros aços	Limitar vida
Resfriamento primário		De 70% a 55%	De 4 conic. A parabólica	Baixar nível
Manutenção	Melhorar alinhamento da camisa de água		Melhorar interc. calor p/ entrar primário c/ baixa t	Alinhamento máquina-solução defeitos eletromecânicos
Velocidade		máx. 3,6 m/min		Definir máximo
Rolos de pé	Folga negat. nas 4 faces	-0,1 o primeiro; -0,2 o segundo		
Qualidade da água			Ajuste do tratamento; revisão de reservatórios	Adequação e monitoramento
Resfriamento secundário	Estandardizar e calibrar medidores de pressão e vazão	Grupo para alinhamento e revisão/troca bicos	De 1 a 1,7 l/kg; de 20% a 25% anel; 1,4 a 1,6 diâ. bicos; contra. alin./ obstr.	Revisão do sistema
Extratora		Baixa pressão 10%		

Fonte: Adaptado de Madias (2013)

Analisando o Quadro 3 percebe-se que as usinas modificaram seus processos de produção de tarugos, com isso, elas conseguiram diminuir um pouco da romboidade. Um exemplo disso foi à substituição dos jatos, que a maioria das empresas passou a adotar o jato aberto, enquanto que a ArcelorMital Monlevade começou a utilizar o jato aberto. Além disso, as empresas também modificaram parâmetros como qualidades da água, resfriamento secundário, definiram uma vida útil para o molde, dentre outras coisas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio deste trabalho foi possível analisar a romboidade, suas condicionantes e as variáveis associadas ao processo. Esse mecanismo afeta a qualidade do produto final, sendo ocasionada por mecanismos de transferência de calor e de solidificação.

O processo de fabricação de aços é complexo, desde a aciaria até o lingotamento contínuo de tarugos. Na aciaria o aço tem sua composição química ajustada, ou seja, adicionam-se elementos químicos como manganês, nióbio, titânio, boro, dentre outros para melhorar a performance do aço. O lingotamento contínuo, consiste basicamente em vaziar o molde em uma forma para obter tarugos ou placas. Nesse processo é importante estar atento a diversos fatores como velocidade de resfriamento, material do molde e a uma série de fatores que podem gerar danos superficiais e volumétricos em tarugos, como a romboidade.

A romboidade, por sua vez é um defeito muito comum nas aciarias, que afeta a qualidade dos tarugos. Esse defeito faz com que as faces do material não fiquem paralelas, apresentando diagonais com medidas diferentes. As principais causas são o resfriamento heterogêneo nos chuveiros e a distorção do molde, sendo necessário realizar um controle estrito desses fatores durante o lingotamento contínuo. Ao se trabalhar esses fatores consegue-se minimizar a romboidade e outros defeitos que ela pode gerar nos aços.

A romboidade apresenta diversas causas, conforme observado nas pesquisas analisadas, é preciso que sejam realizadas medidas preventivas para minimizar o surgimento da romboidade. Através dos estudos anteriores foi possível constatar que a principal medida preventiva a ser realizada pelas empresas para minimizar a romboidade seria a realização de manutenções periódicas. Através dessas medidas consegue-se minimizar as perdas financeiras devido a esse grande problema que só pode ser detectado ao final da linha de produção.

Como apresentado, a resolução de dois das três causas de romboidade mais citadas podem já tem o potencial significativo de melhora na redução da deste tipo de problema que ocorrem nos aços

Para trabalhos futuros, recomenda-se a realização de uma pesquisa de campo em uma siderúrgica a fim de avaliar a romboidade na prática. Além disso,

sugere-se ainda a criação de um plano de manutenção a fim de inspecionar os principais componentes que causam a romboidade. Após a sua criação é preciso avaliar se as propostas estão contribuindo de fato para a redução da romboidade.

CONDITIONS FOR THE FORMATION OF ROMBOITY IN CONTINUOUS STEEL

ABSTRACT

The quality of end products is something that all companies value, in steel companies there is a great concern and a great control of these problems. However, even so, defects such as diamond tend to appear, ie when the billet has different diagonals, and this defect manifests itself in continuous casting. Therefore, this article proposes the following questions, what are the main conditions for billet breakage in continuous casting of a steel mill? What process variables can be associated with this phenomenon? To answer these questions, the following general objective was determined: to perform an analysis of the defect occurring in steel billets called rhombity, assessing the formation constraints and which process variables are linked to this defect. The following specific objectives were also determined: to know the steelmaking process and the continuous casting and to evaluate the rhombity and its causes. Knowing the causes of rhombity is important to producing better- and better-quality products, enabling the company to become more competitive. For this reason, a bibliographic review was performed, consulting books, articles and other works on rupture and lamination processes. Thus, rhombity has been found to be caused by inefficient cooling and mold distortion, and it is necessary to control these processes during rolling to avoid this type of defect.

Keywords: Rhomboidity. Steel shop. Continuous casting.

REFERÊNCIAS

AISE STEEL FOUNDATION. **The making, shaping and treating of steel: casting.** 11 ed. Pittsburg, 2003.

ARAÚJO, L. A., **Manual de Siderurgia**, São Paulo: Editora Arte & Ciência, 1997. Volume 1.

BARBOSA, F. A. **Modelamento matemático e físico do escoamento do aço líquido em diferentes projetos de distribuidor do processo de lingotamento contínuo da USIMINAS**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2002. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Metalúrgica).

CAVALCANTI, Pedro Porto Silva. **Gestão Ambiental na Indústria Siderúrgica – Aspectos Relacionados às Emissões Atmosféricas**. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2012.

CHEVRAND, L. J. S. (Coord), REIS, G. O. N. dos (Coord) **Lingotamento Contínuo de Billets**. Curso Associação Brasileira de Metais – ABM. São Paulo, 1989

GARCES, S. B. B. **Classificação e tipos de pesquisa**. 2010.

GOULART L. L. O. et al., 46. 2015. **Melhoria no rendimento de ferro-ligas e dos processos de desoxidação e dessulfuração com a utilização de carbureto de cálcio**. Rio de Janeiro. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE ACIARIA. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, 2013.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6. Ed. São Paulo: Atlas, 2008.

MADIAS, J. **Uma revisão do problema de romboidade no lingotamento contínuo de tarugos**, Belo Horizonte: 43º Seminário de Aciaria, 2012.

MADIAS, J., 44. 2013. **Influência das particularidades da solidificação na qualidade de tarugos e placas de diferentes teores de carbono**. Araxá. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE ACIARIA Araxá: Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, 2013.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de Pesquisa: Planejamento e Execução de Pesquisas, Amostras e Técnicas de Pesquisas, Elaboração, Análise e Interpretação de Dados**. 8 ed., São Paulo: Atlas, 2017.

OINAS, P.; MALECKI, E. Spatial innovation systems. In MALECKI, E.; OINAS, P. **Making Connections: Technological learning and regional economic change**. Aldershot (UK): Ashgate, 1999.

RIZZO, Ernandes Marcos da Silveira. **Introdução aos Processos de Lingotamento de Aços**. Editora ABM, 2006.

SAMARASEKERA, I.V., BRIMACOMBE, J.K., **Thermal e and mechanical behaviour of continuous billet molds**. In: BRIMACOMBE, 1982.

SANTOS, A. S. **Estudo de caso: caracterização da romboidade nos tarugos sinobras e avaliação dos principais parâmetros intrínsecos ao defeito geométrico**. Marabá: Universidade Federal do Pará, 2013. (Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Engenharia de Materiais).

SERRA NEGRA, Carlos Alberto; SERRA NEGRA, Elizabete Marinho. **Manual de trabalhos monográficos de graduação, especialização, mestrado e doutorado**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SILVA, J. N. S. **Siderurgia**. Belém do Pará: IFPA, 2011.

SILVA, R. G. **Estudo do desempenho de molde texturado no lingotamento contínuo de tarugos**. 2016 72 f. Trabalho de Diplomação (Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

THOMAS, B.G., **Continuous Casting, the Encyclopedia of materials: Science and technology**. Elsevier Science Ltd. Oxford, 2001.

VOLTZ, Hiury, **Influência dos parâmetros de processo na ocorrência de romboidade em tarugos de aço de médio teor decarbono produzidos na ArcelorMittal Cariacica**, Rio de Janeiro: 46º Seminário de Aciaria, 2015.

WERKEMA, M.C.C.; AGUIAR, S. **Planejamento e Análise de Experimentos: como identificar as principais variáveis influentes em um processo**. Série Ferramentas da Qualidade, Fundação Christiano Ottoni, Universidade Federal de Minas Gerais, v.8, 1996.