

USO DE BARREIRAS EM DISTRIBUIDORES DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO PARA REDUÇÃO DE INCLUSÕES: UMA ANÁLISE DOS ÚLTIMOS DEZ ANOS

Fernanda do Nascimento Oliveira ⁽¹⁾ (fernanda.nascimento1@aluno.ufop.edu.br), Arthur Nascimento Assuncao ⁽²⁾ (arthur.assuncao@ifsudestemg.edu.br)

⁽¹⁾ Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP); Rede Temática em Engenharia de Materiais

⁽²⁾ Instituto Federal De Educação, Ciência E Tecnologia Do Sudeste De Minas Gerais (IFSudesteMG)

RESUMO: *A fabricação global de aço bruto tem crescido de forma significativa ao longo dos anos e com isso surgiu a necessidade de aços mais limpos, livres de inclusões não-metálicas. Devido a isso, são utilizados distribuidores de lingotamento contínuo (continuous casting tundishes) com modificadores de fluxo, como barreiras, diques, inibidores de turbulência, para auxiliar na remoção e flotação dessas inclusões. Assim, conhecer melhor o uso dos modificadores é essencial para montar distribuidores mais eficientes. Nesse aspecto, este estudo revisa os últimos dez anos de uso de barreiras em distribuidores de lingotamento contínuo, destacando os melhores usos para barreiras e as combinações mais eficientes de modificadores de fluxo para a redução de inclusões não-metálicas. Primeiro realizamos uma busca por termos relativos ao tema na base de dados Scopus, em seguida selecionamos as publicações que respondiam ao objetivo deste estudo, por fim, extraímos dados e analisamos os artigos selecionados. Nossos resultados indicam que, apesar do uso de apenas um modificador de fluxo melhorar a eficiência, combinações, principalmente, com barreiras mais altas, mostraram-se mais eficientes.*

PALAVRAS-CHAVE: *Distribuidor de lingotamento contínuo, modificador de fluxo, barreiras.*

USE OF DAMS IN CONTINUOUS CASTING TUNDISHES FOR INCLUSION REDUCTION: AN ANALYSIS OF THE LAST TEN YEARS

ABSTRACT: *Global production of crude steel has grown significantly over the years, leading to a need for cleaner steels, free of non-metallic inclusions. As a result, continuous casting tundishes with flow modifiers, such as dams, weirs, and turbulence inhibitors, are used to aid in the removal and flotation of these inclusions. Therefore, a better understanding of the use of these modifiers is essential for designing more efficient distributors. In this regard, this study reviews the last ten years of dam usage in continuous casting tundishes, highlighting the best uses for dams and the most efficient combinations of flow modifiers for the reduction of non-metallic inclusions. We first conducted a search for terms related to the topic in the Scopus database, then selected the publications that met the objectives of this study, and finally, we extracted data and analyzed the selected articles. Our results indicate that, although the use of a single flow modifier improves efficiency, combinations, especially with higher dams, proved to be more effective.*

KEYWORDS: *continuous casting tundish, flow modifier, dam.*

1. INTRODUÇÃO

A produção de aço bruto em todo mundo tem aumentado ao longo dos anos, esse aumento foi, em média, de 3,3% considerando o período de 2000 a 2023, chegando a 1.892 toneladas em 2023. Na lista dos maiores produtores, liderada por China, Índia e Japão, o Brasil figura o nono lugar, uma posição que demonstra a relevância do país nesse tipo de produção. Em termos de investimento, a indústria siderúrgica destinou, só em 2022, 6,29% de sua receita em novos produtos ou processos (World Steel Association, 2024).

Apesar desses números, o processo de fabricação de aço contém problemas que precisam ser minimizados, um deles é referente as inclusões, que são defeitos gerados no processo de produção do aço, e que se tornam concentradores de tensões na estrutura solidificada podendo levar a falha de um equipamento, por exemplo. Considerando diversos custos como reparo, substituição de aço etc., essa corrosão pode representar de 1% a 5% do PIB de um país (Hou *et al.*, 2017).

Assim, é nítido que a redução de inclusões garantirá um aço de maior qualidade, gerando menores perdas humanas e econômicas, contribuindo para o desenvolvimento da economia local e global. Uma forma de realizar essa redução é com o uso de distribuidor de lingotamento contínuo, do inglês *continuous casting tundish*, que consiste em um reservatório entre o molde e a panela que permite o escoamento do aço para um ou mais veios (Sahai e Emi, 1996).

O uso desse distribuidor favorece a flotação de inclusões, bem como na utilização de modificadores de fluxo, como combinações de barreiras e diques, com intuito de remover e separar as inclusões (Cramb, 2003).

As barreiras podem ser colocadas em diversos pontos do distribuidor, sendo importante saber as diferentes configurações e seus impactos nos diferentes distribuidores.

Com objetivo de analisar e entender o uso de barreiras, sozinhas ou em conjunto com outros modificadores de fluxo, para redução das inclusões não-metálicas em distribuidores de lingotamento contínuo, este trabalho realizou uma investigação na literatura por pesquisas que aplicaram barreiras em distribuidores de lingotamento contínuo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

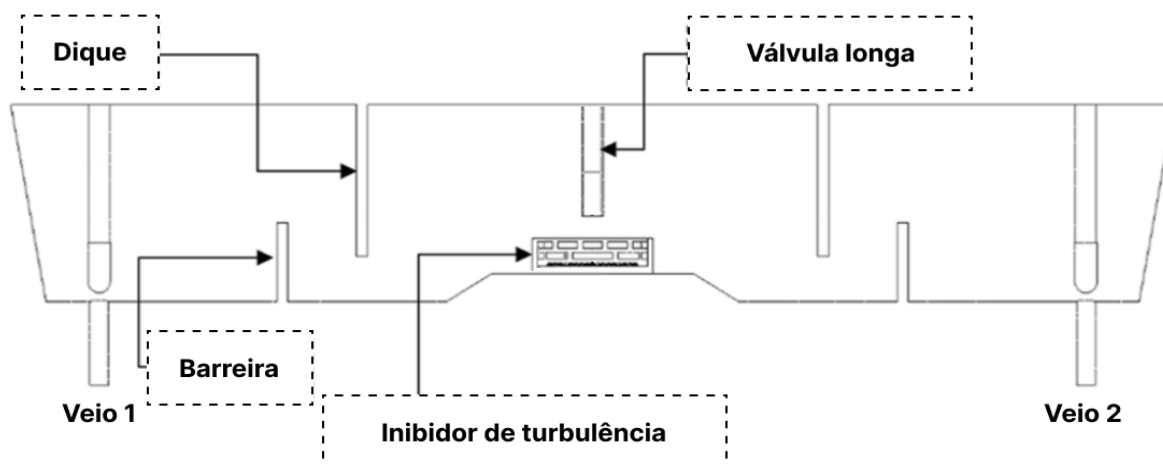
Para investigar a literatura em busca de trabalhos que utilizaram barreiras em distribuidores de lingotamento contínuo (*continuous casting tundishes*), realizamos uma revisão que se baseia no método de Conforto *et al.* (2011) que trata de revisão de literatura englobando revistas científicas e congressos em temas como desenvolvimento de produto, o que tem forte relação com aplicações relativas à indústria. Uma revisão bibliográfica sistemática consiste em um processo de coleta,

compreensão, análise, síntese e avaliação de um conjunto de publicações científicas (Levy e Ellis, 2006).

Esta revisão investiga o uso de barreira utilizada sozinha ou em conjunto de outros modificadores de fluxo em *continuous casting tundishes*, os modificadores de fluxo auxiliam na redução de inclusões por meio da redução da turbulência, geração de fluxo ascendente, redução da turbulência na zona de escória, aumento do tempo de residência, dentre outros benefícios. Tudo isso visa a fabricação de aço mais limpo, com menos inclusões.

Os modificadores de fluxo mais comuns são: inibidor de turbulência, barreiras e diques, como mostrado na Figura 1. Podemos ver que barreiras são muros de contenção localizados na parte inferior do distribuidor, diques são muros de contenção localizados na parte superior do distribuidor, por fim, inibidores de turbulência são dispositivos que direcionam o fluxo para a camada de escória. Esses inibidores de turbulência costumam ser colocados abaixo do fluxo de entrada, inibindo curtos-circuitos, que ocorrem quando partículas entram em alta velocidade no distribuidor e vão em direção aos veios, aumentando a inclusão no aço, ao invés de flutarem em direção à zona de escória (Alves, 2014) e turbulências no fluxo. Barreiras (ou barragens) são muros colocados na parte inferior do distribuidor para alterar o fluxo, essas barreiras podem ter perfurações superiores e inferiores, as inferiores são comumente realizadas em algum ângulo, como 40°, e são utilizadas para reduzir estagnação atrás dela e para aumentar o fluxo ascendente, enquanto perfurações superiores, normalmente de forma horizontal, podem auxiliar na redução da turbulência na zona de escória. De maneira geral, as barreiras podem auxiliar na redução do efeito de curto-circuito ao direcionar o fluxo para a superfície do distribuidor. Por último, dentre os mais utilizados, temos os diques, que são como muros posicionados na parte superior do distribuidor e auxiliam o fluxo ao direcioná-lo para a parte inferior do distribuidor e costumam ser utilizados em conjunto com barreiras (De Souza, 2019).

FIGURA 1. Exemplo de distribuidor com diversos modificadores de fluxo.



Fonte: Adaptador de Galante (2023).

2.1 Banco de dados, seleção de palavra-chave e data de pesquisa

Nossa fonte de dados foi a base de dados Scopus, acessada por meio do Períodos Capes. O uso desta base se deve pelo seu amplo alcance, por indexar conteúdos de mais de 7.000 publicadores com mais de 91 milhões de registros (Scopus, 2024). Para a consulta utilizamos uma *string* de busca baseada nos termos "distribuidor de lingotamento contínuo", "barreiras" e "barragens" usando versões com e sem plural e em português e inglês, permitindo a localização de textos nos dois idiomas, como podemos visualizar na Tabela 1. A busca foi realizada no dia 1 de julho de 2024.

TABELA 1. Consulta realizada na base de dados Scopus.

Base de dados	String de busca
Scopus	("Continuous Casting Tundish" OR "Distribuidor de Lingotamento Contínuo" OR "Distribuidor de Lingotamento Continuo") AND ("Dam" OR "Dams" OR "Barreira" OR "Barreiras" OR "Barragem" OR "Barragens")

Fonte: Autores (2024).

2.2 Critérios de inclusão e exclusão e qualificação

Apenas trabalhos completos publicados em revistas científicas e congressos com publicação nos últimos 10 anos completos foram consideradas. A limitação de tempo foi imposta, pois nossa intenção foi selecionar os trabalhos mais recentes e apresentar as inovações do tópico em questão. Publicações em qualquer idioma foram aceitas, contudo, foi utilizado o Google Tradutor para traduzir o texto caso o idioma da publicação fosse diferente de inglês, português e espanhol. Assim, estudos publicados como capítulos de livros, trabalhos de conclusão de curso, dissertações, teses, artigos de revisão e *surveys* foram excluídos. Por fim, a qualificação considerou artigos que apresentaram uso de barreira em *continuous casting tundishes*.

2.3 Triagem dos estudos e ferramenta de extração de dados

Realizamos a leitura dos registros (título, resumo e palavras-chave) para identificar quais trabalhos tinham relação com a revisão e, partir desta leitura, classificamo-los em “Incluído”, “Excluído” e “Talvez”. Os registros indicados como “Incluído” ou “Talvez” foram lidos na íntegra para confirmar a seleção. Esse procedimento foi realizado com todos os registros encontrados.

Após a seleção dos artigos, os catalogamos numa planilha a partir da seguinte tabela de extração de dados: Título, Ano, Local de publicação, Autores, Idioma, Palavras-Chave, Objetivo,

Modificadores De Fluxo Usados, Quantidade De Veios, Tipo De Ambiente De Teste (Simulação, Replica Ou Real), Casos De Teste, Principais Resultados.

Por fim, realizamos uma análise descritiva, período de publicação dos estudos selecionados, idioma dos trabalhos e tipo do local de publicação, e a análise das publicações incluídas.

3. RESULTADOS

Sete publicações foram selecionadas a partir dos 17 registros encontrados por nossa busca. Dentre os registros excluídos: um estava duplicado, três foram removidos por não conseguirmos acesso ao documento completo, um por não apresentar resultados numéricos que pudessem ser analisados e os demais por não realizarem uso de modificadores de fluxo (barreira) com análise da remoção de inclusões. A Tabela 2 apresenta os trabalhos selecionados, onde é possível ver que foram publicados entre 2015 e 2023, um foi escrito em chinês e seis em inglês. Nenhum foi publicado diretamente em Congresso, apesar de que duas revistas científicas listadas servirem de local para publicação de artigos de congresso.

TABELA 2. Publicações selecionadas com indicação de ano e local de publicação e idioma do documento.

Publicação	Ano de publicação	Local de publicação	Idioma do documento
ZHAO <i>et al.</i> , 2015	2015	Gongcheng Kexue Xuebao/Chinese Journal of Engineering	Chinese
LIU <i>et al.</i> , 2016	2016	TMS Annual Meeting	English
HARNSIHACACHA <i>et al.</i> , 2018	2018	Materials Today: Proceedings	English
YUE <i>et al.</i> , 2017	2017	Metalurgija	English
GALANTE <i>et al.</i> , 2023	2023	Transactions of the Indian Institute of Metals	English
SOUSA ROCHA <i>et al.</i> , 2019	2019	Journal of Materials Research and Technology	English
MOSALMAN YAZDI <i>et al.</i> , 2019	2019	Canadian Metallurgical Quarterly	English

Fonte: Autores (2024).

Algumas características dos estudos podem ser vistas na Tabela 3. Podemos ver que o mais comum é a utilização de ambiente simulado, geralmente simulação matemática com uso de software

de fluidodinâmica computacional, do inglês *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Alguns estudos utilizam uma réplica em escala menor do distribuidor industrial, permitindo testes mais próximos aos reais dentro do laboratório e apenas um trabalho utilizou distribuidor industrial real, contudo é importante notar que essa aplicação só ocorreu após experimentos em réplica em escala reduzida e o estudo em questão (ZHAO *et al.* 2015) não realizou experimentos no distribuidor industrial, apenas aplicou a otimização a fim de conhecer o resultado. A quantidade de veios mais comum nos trabalhos foi um, porém houve trabalhos até quatro veios.

Os tipos de modificadores de fluxo mais comuns utilizados em comparação ou em conjunto com Barreiras foram: inibidor de turbulência (n=5), dique (n=3), injeção de gás (n=1), defletor (n=1). O maior uso do inibidor de turbulência se dá pelo fato de sempre ser necessário a utilização de algum modificador de fluxo que impeça a ocorrência de curto-circuito.

TABELA 3. Quantidade de veios, tipo de ambiente dos experimentos e modificadores de fluxo usados pelos trabalhos selecionados.

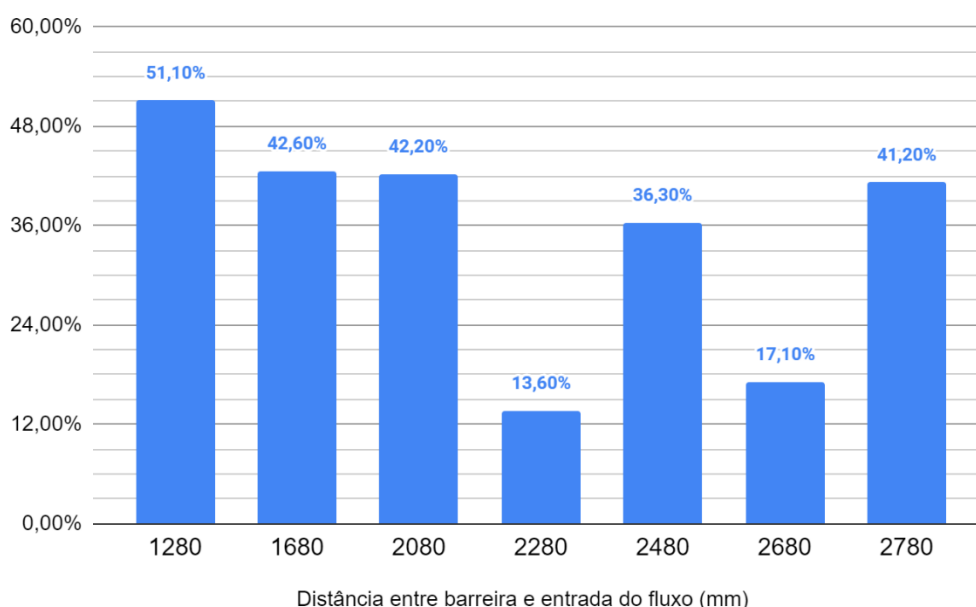
Publicação	Quantidade de veios	Tipo de ambiente	Modificadores de fluxo utilizados
ZHAO <i>et al.</i> , 2015	1	Replica em escala reduzida e Real	Inibidor de turbulência, Barreira (várias alturas) e Dique
LIU <i>et al.</i> , 2016	1	Simulado	Injeção de gás e Barreira
HARNSIHACACHA <i>et al.</i> , 2018	1	Simulado e Replica em escala reduzida	Barreira, Defletor e Inibidor de Turbulência
YUE <i>et al.</i> , 2017	2	Simulado	Inibidor de turbulência (diferentes quantidades de veios), Barreira e Dique
GALANTE <i>et al.</i> , 2023	2	Simulado e Replica em escala reduzida	Inibidor de turbulência e Barreiras
SOUSA ROCHA <i>et al.</i> , 2019	Não informado	Simulado	Barreira e Dique
MOSALMAN YAZDI <i>et al.</i> , 2019	4	Replica em escala reduzida	Barreira (na entrada, baixa e alta)

Fonte: Autores (2024).

Desta forma, diversos objetivos e conclusões foram obtidas pelos trabalhos. Zhao *et al.* (2015) compararam o uso de inibidor de turbulência, inibidor de turbulência + barreira (nesse caso variaram distância até a entrada do fluxo e altura das barreiras foi alterada de 480mm para 400mm) e inibidor de turbulência + barreira + dique e analisaram tempo de retenção, tempo de residência e proporção

de zonas mortas. Seus resultados em réplica (escala 1:2) do distribuidor industrial de um veio usando sistema com água indicaram que o uso de inibidor de turbulência + barreira gerou melhores tempos de residência e menor de zona morta. Assim, ao comparar as diversas variações de distância entre as barreiras e a entrada do fluxo foi possível perceber que a distância de 2280mm permitiu maior tempo de residência e menor de zona morta, chegando a 13,60% contra 67,80% e 36,90% com uso de apenas inibidor de turbulência e inibidor de turbulência + barreira + dique, respectivamente, como pode ser visto na Figura 2. Por fim, os autores aplicaram o melhor resultado como otimização no distribuidor industrial e chegaram a uma redução de 62% na fração de massa de grandes inclusões no tarugo.

FIGURA 2. Zona morta ao variar a distância da barreira em relação à entrada do fluxo. A altura das barreiras foi mantida em 400mm.



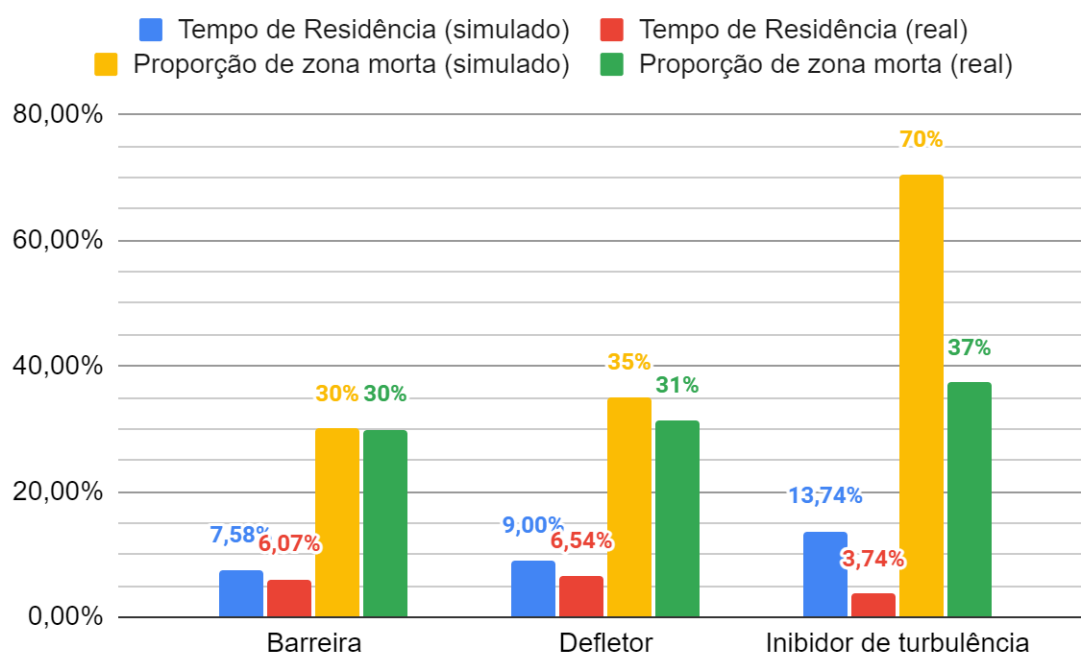
Fonte: Adaptado de ZHAO *et al.* (2015).

Para melhorar a qualidade do aço reduzindo fração de volume morto e aumentar o tempo de residência por meio do controle do campo de fluxo sob estado estacionário em um distribuidor de um veio, Liu *et al.* (2016), compararam um distribuidor simples, um distribuidor + barreira e um distribuidor + barreira + injeção de gás argônio (em três taxas de fluxos (vazão): 1,5 m³/h, 0,9 m³/h, 0,3 m³/h. Seus resultados indicaram que com o sopro de gás houve aumento no tempo médio de residência e redução da fração de volume morto, reduzindo essa fração de 28,6% para 13,3% quando utilizou a vazão de gás de 0,3 m³/h.

Um estudo com distribuidor de um veio foi realizado por Harnsihacacha *et al.* (2018). Nesse estudo foi realizada uma simulação computacional do distribuidor e utilizada uma réplica de

distribuidor em escala reduzida usando modelo de água com objetivo de melhorar o comportamento do fluxo e remoção de inclusão não-metálica comparando distribuidor simples, uso de barreira, de defletor e inibidor de turbulência. A barreira utilizada teve altura de 10cm e espessura de 1,5cm. Seus resultados, na Figura 3, indicaram que o tempo de residência melhorou 7,5% com barreira, 9% com defletor e 13% com inibidor de turbulência no teste simulado e 6%, 6,5% e 3,7% no teste real para barreira, defletor, inibidor de turbulência, respectivamente. Isto resultou em melhoria de 30% utilizando barreira, 35% com defletor e 70% com inibidor de turbulência na proporção de zona morta nos testes simulados, contudo no teste real a melhoria foi de 30%, 31% e 37% para barreira, defletor, inibidor de turbulência, respectivamente.

FIGURA 3. Porcentagem de melhoria de cada modificador de fluxo em relação ao distribuidor sem uso de modificadores de fluxo.

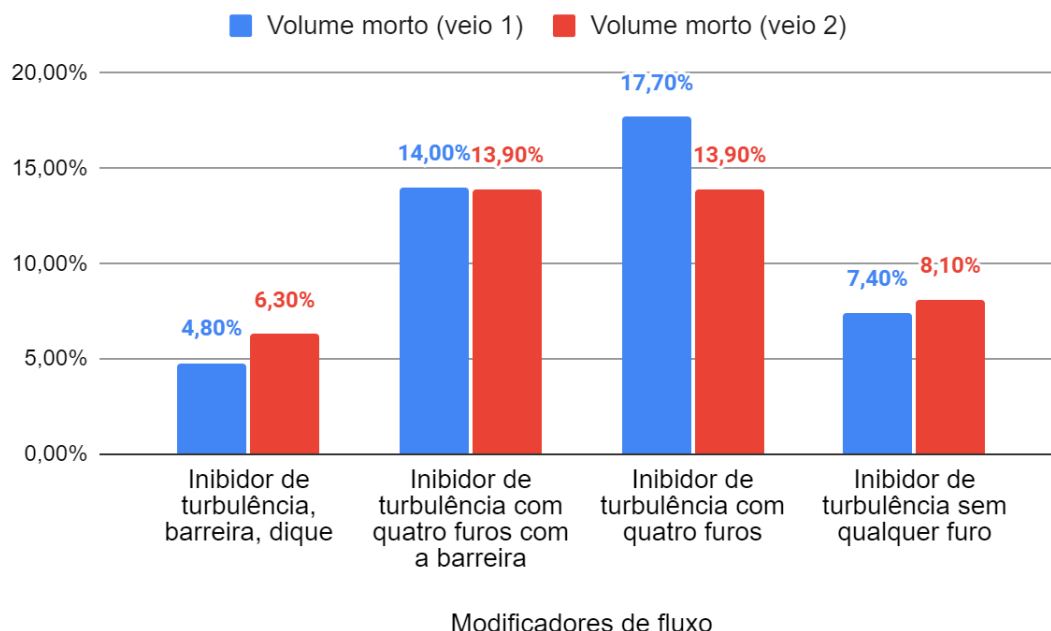


Fonte: Adaptado de Harnsihacacha *et al.* (2018)

Yue *et al.* (2017) objetivaram determinar a influência de diferentes modificadores de fluxo em um distribuidor de dois veios com o uso de simulação computacional. Para isso, realizaram quatro diferentes configurações para os testes: apenas inibidor de turbulência com quatro furos, inibidor de turbulência com barreira e dique, inibidor de turbulência com quatro furos com barreira e, por fim, inibidor de turbulência sem qualquer furo. Os autores concluem que os testes com inibidor de turbulência + barreira + dique e apenas inibidor de turbulência sem furos geraram menor fração de volume morto com maiores tempos de residência, como podemos ver na Figura 4, onde percebemos que os dois melhores resultados foram com inibidor de turbulência sem qualquer furo (7,4% no veio

1 e 8,1% no veio 2) e do inibidor de turbulência em conjunto com barreira e dique (4,8% no veio 1 e 6,3% no veio 2), porém nitidamente o resultado do uso dos três modificadores de fluxo juntos foi significativamente superior.

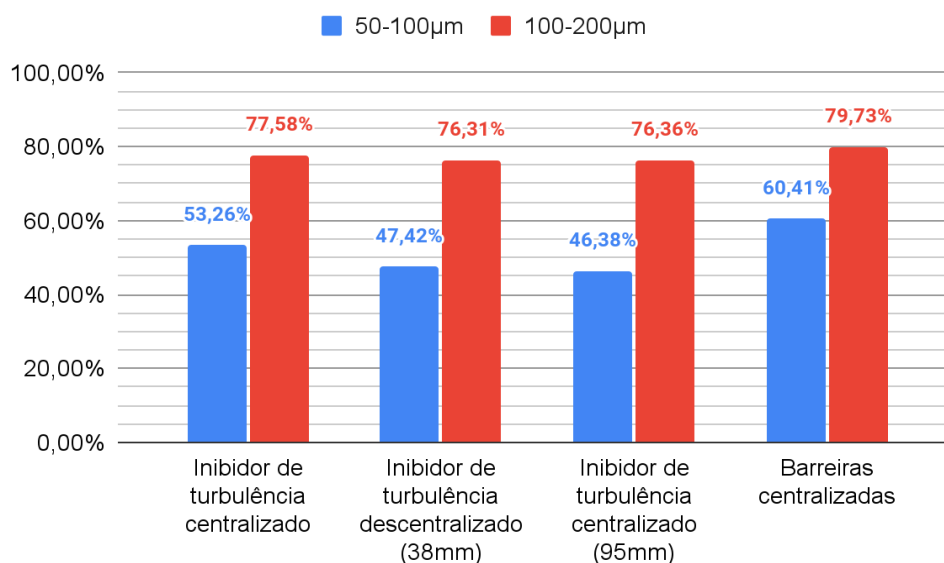
FIGURA 4. Volume morto em cada veio.



Fonte: Adaptado de Yue *et al.* (2017).

Alternando entre inibidor de turbulência e barreiras para avaliar a eficiência na remoção de partículas de 50-100 micrômetro e 100-200 micrômetro, Galante *et al.* (2023) realizou testes em simulação computacional e em réplica em escala reduzida de um distribuidor. Os testes foram divididos em cinco configurações, todas utilizaram uma barreira e um dique de cada lado e variaram inibidor de turbulência e barreiras adicionais da seguinte forma: inibidor de turbulência centralizado em relação ao centro do distribuidor, inibidor de turbulência descentralizado com deslocamento de 38mm em relação ao centro do distribuidor, inibidor de turbulência descentralizado com deslocamento de 95mm em relação ao centro do distribuidor, uma barreira de cada lado com o centro centralizado a 93,5mm em relação ao centro do distribuidor e com 90 mm de altura e, por fim, barreiras descentralizadas com deslocamento adicional de 38mm em relação ao centro do distribuidor. Seus resultados, apresentados na Figura 5, indicam que, para partículas de 100 a 200 micrômetros, todos os casos tiveram boas eficiências com cerca de 75 a 80% de remoção, enquanto para partículas menores (50 a 100 micrômetros) a substituição do inibidor de turbulência por barreiras centralizadas de forma simétrica foi mais eficiente que os demais casos, chegando a 60%, enquanto o segundo melhor caso (inibidor de turbulência centralizado) foi 7,15% pior.

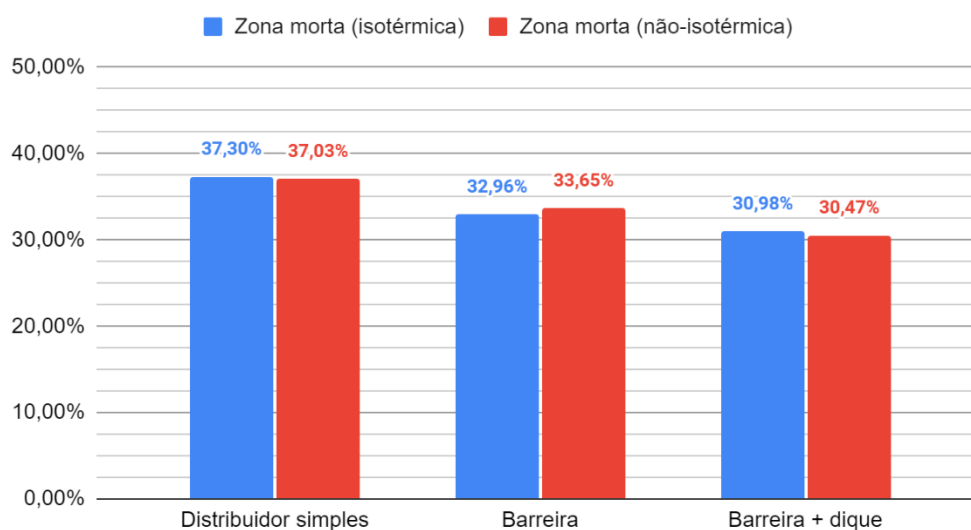
FIGURA 5. Eficiência na remoção de partículas por cada configuração separado pelas dimensões das inclusões.



Fonte: Adaptado de Galante *et al.* (2023).

Sousa Rocha *et al.* (2019) estudaram a influência dos modificadores de fluxo para remoção de inclusão, fluxo e distribuição de temperatura durante operação contínua do distribuidor, ou seja, com troca de panela (análise não-isotérmica). Os autores validaram estudos da literatura e ainda realizaram três experimentos: distribuidor simples, distribuidor com adição de barreira e distribuidor com adicional de barreira e dique.

FIGURA 6. Proporção de zona morta nos experimentos isotérmicos e não-isotérmicos em cada configuração.

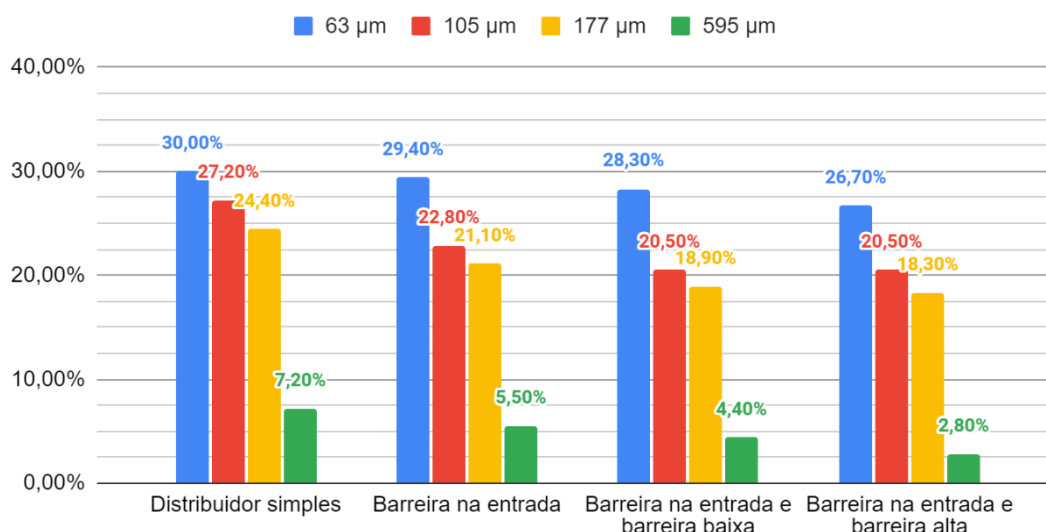


Fonte: Adaptador de Sousa Rocha *et al.* (2019).

Os três experimentos de Sousa Rocha *et al.* (2019) foram analisados em condições isotérmicas e não-isotérmicas. Os resultados apresentados na Figura 6 indicam que modificadores de fluxo como barreira e dique podem melhorar a eficiência do distribuidor, sendo a combinação de barreira e dique superior a apenas adição de barreira. Nos testes isométricos a proporção de volume morto foi de 37,30% com distribuidor simples, enquanto foi de 32,96% com barreira e chegou a 30,98% com barreira e dique. Na análise não-isométrica, essa proporção foi parecida, 37,03%, 33,65% e 30,47% para distribuidor simples, barreira e barreira + dique, respectivamente.

Diferente dos demais trabalhos que utilizaram apenas *continuous casting tundishes* com um ou dois veios, Mosalman Yazdi *et al.* (2019) investigaram o comportamento do fluxo e limpeza do aço para melhoria da qualidade do produto final em um distribuidor em réplica em escala reduzida de um distribuidor de quatro veios.

FIGURA 7. Percentual de zona morta nas diferentes dimensões de inclusões (63 μm , 105 μm , 177 μm e 595 μm).



Fonte: Adaptado de Mosalman Yazdi *et al.* (2019).

Os experimentos de Mosalman Yazdi *et al.* (2019) consistiram em: distribuidor com barreira na entrada (250mm de altura); distribuidor com barreira na entrada e barreira alta (250mm); e distribuidor com barreira na entrada e barreira curta (70mm). A barreira da entrada do fluxo foi perfurada em dois pontos na parte inferior em ângulo de 40° (para evitar estagnação atrás da barreira e gerar fluxo ascendente) e em quatro pontos na parte superior de forma horizontal (para evitar turbulência na zona de escória). A barreira alta foi perfurada em três pontos apenas na parte inferior em ângulo de 40°. Essa adição de barreira na entrada reduziu 2% (inclusões com 63 micrômetros) até 23,6% (inclusões com 595 micrômetros), enquanto com barreira na entrada e duas barreiras baixas reduziu 5,7% a 38,9% e, por fim, com barreira na entrada e duas barreiras altas reduziu 11% a 61,6%

as inclusões quando comparado com o distribuidor simples. A Figura 7 indica os percentuais de inclusão variando seu tamanho, podemos ver que houve redução em todos os cenários quando comparado ao distribuidor simples, porém o uso de barreira na entrada e barreira alta atingiu o menor percentual de inclusões em todas as dimensões.

Podemos perceber pelos trabalhos apresentados, que o simples uso de um modificador de fluxo já melhora a eficiência do processo de lingotamento contínuo realizado pelo distribuidor, porém a associação de diversos modificadores de fluxo pode representar resultados ainda melhores, além disso, quando barreiras são utilizadas, é interessante analisar a sua altura, pois barreiras mais altas tendem a gerar maior eficiência e perfurações nas regiões superiores e inferiores também alteram a eficiência, podendo ser utilizados para evitar estagnação atrás da barreira e gerar fluxo ascendente e para evitar turbulência na zona de escória.

3.1 Limitações do trabalho

A heterogeneidade nas especificações dos distribuidores (dimensões, posição dos modificadores de fluxo, vazão de entrada, partícula utilizada para simular inclusão, quando utilizado replica de distribuidor, dentre outras) é uma grande limitação, pois impede que trabalhos e seus resultados sejam adequadamente comparados. Além disso, os resultados de remoção de inclusão não foram apresentados na mesma unidade por todos os trabalhos, sendo necessária conversão ou até sendo impossível converter os dados para uma forma única entre os trabalhos. Ainda, os estudos não apresentam intervalos de confiança ou outra medida que permita entender o intervalo onde a aplicação das soluções poderia estar, o tamanho de efeito ou o grau de certeza em relação aos resultados. Em relação aos termos, utilizamos algumas variações dos termos, mas é possível existirem outras variações e combinações dos mesmos termos, também usamos apenas termos em inglês e português, porém uso de termos em espanhol e chinês talvez reduzisse o viés de publicação. Por fim, nós utilizamos apenas publicações indexadas na base de dados Scopus, apesar da base ser uma das maiores, ela contempla apenas congressos da literatura cinzenta, não incluindo, por exemplo, teses e dissertações.

4. CONCLUSÕES

Nosso trabalho apresentou uma revisão de estudos com *continuous casting tundishes* que analisaram uso de barreira associada ou não a outros modificadores de fluxo para redução de inclusão não-metálica no aço, garantindo aço mais limpo.

Os trabalhos selecionados indicam que o uso de um único modificador de fluxo já melhora a eficiência do processo de lingotamento contínuo realizado pelo distribuidor. No entanto, a

combinação de diferentes modificadores de fluxo pode resultar em melhorias ainda maiores. Além disso, ao utilizar barreiras, é importante considerar sua altura, pois barreiras mais altas tendem a aumentar a eficiência que barreiras mais baixas. Perfurações nas regiões superiores e inferiores das barreiras também influenciam a eficiência, podendo ser utilizadas para evitar estagnação atrás da barreira, gerar fluxo ascendente e reduzir a turbulência na zona de escória.

Por fim, este trabalho abre caminho para que pesquisas apresentem medidas de incerteza, como intervalo de confiança, para que a aplicação dos resultados possa ser adequadamente mensurada. Além disso, nossos achados reforçam a aplicação de barreiras mais altas em distribuidores como boas soluções para redução de inclusões. Finalmente, sugerimos ampliar a busca por publicações em outras bases de dados, incluindo bases de teses e dissertações, bem como congressos e revistas relevantes da área que não são indexados na base de dados Scopus.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) e ao IF Sudeste MG pelo apoio a este trabalho.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este trabalho.

REFERÊNCIAS

ALVES, Joao Geraldo. Melhoria no padrão de escoamento do aço líquido no distribuidor do lingotamento contínuo 01 da APERAM Inox América do Sul. 2014.

CONFORTO, E. C.; Amaral, D. C.; Silva, S. L. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. In: 8o Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produtos – CBGDP 2011, 12-14 set., Porto Alegre, 2011.

CRAMB, A. W. The making, shaping and treating of steel: casting volume. 11. ed. The AISE Steel Foundation, 2003.

DE SOUZA, Gisele Márcia et al. Avaliação do efeito de injeção de gás na remoção das inclusões em distribuidor de lingotamento contínuo por meio de modelagem matemática. 2019.

GALANTE, G. S.; DA SILVA, C. A.; REIS, R. F.; MARTINS, R. S.; SESHADRI, V.; PEIXOTO, J. J. M. Inclusion Removal Studies in a Two-Strand Tundish: Effect of Substitution of Turbulence Inhibitor with Dams and Effect of Teeming Ladle and Ladle Shroud Set Asymmetry Employing Physical and Mathematical Modeling. Transactions of the Indian Institute of Metals, [s. l.], v. 76, n. 7, p. 1853–1861, 2023.

HARNSIHACACHA, A.; PIYAPANEEKOON, A.; KOWITWARANGKUL, P. Physical water model and CFD studies of fluid flow in a single strand tundish. Em: 2018, [s. l.], . Anais [...]. [S. l.: s. n.], 2018. p. 9220–9228. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85058507251&doi=10.1016%2fj.matpr.2017.10.093&partnerID=40&md5=2366e9dbff1710e45d95519bde337d6b>.

HOU, Baorong et al. The cost of corrosion in China. npj Materials Degradation, v. 1, n. 1, p. 4, 2017.

LEVY, Y.; Ellis, T. J. A system approach to conduct an effective literature review in support of information systems research. Informing Science Journal, v.9, p.181-212, 2006.

LIU, S.; WANG, B.; YANG, Z.; FENG, S.; FENG, K.; XIE, J.; ZHANG, J. Numerical simulation of the multiphase flow in the single-tundish system. Em: 2016, [s. l.], . Anais [...]. [S. l.: s. n.], 2016. p. 67–74. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84974703386&doi=10.1002%2f9781119274681.ch9&partnerID=40&md5=8ea76e29b9d0c20842fbe1af5a11eb04>.

MOSALMAN YAZDI, M. R.; KHORASANI, A. R. F.; TALEBI, S. Experimental investigation of flow control devices effect on inclusion separation in a four strand tundish. Canadian Metallurgical Quarterly, [s. l.], v. 58, n. 4, p. 379–388, 2019.

SAHAI, Yogeshwar; EMI, Toshihiko. Melt flow characterization in continuous casting tundishes. ISIJ international, v. 36, n. 6, p. 667-672, 1996.

Scopus. About - Elsevier Scopus Blog. Disponível em: <<https://blog.scopus.com/about>>. Acesso em: 11 de julho de 2024.

SOUSA ROCHA, J. R. D.; SOUZA, E. E. B. D.; MARCONDES, F.; CASTRO, J. A. D. Modeling and computational simulation of fluid flow, heat transfer and inclusions trajectories in a tundish of a steel continuous casting machine. Journal of Materials Research and Technology, [s. l.], v. 8, n. 5, p. 4209–4220, 2019.

WORLD STEEL ASSOCIATION. World steel in figures 2024. Brussels: World Steel Association, 2024. Disponível em: <<https://worldsteel.org/wp-content/uploads/World-Steel-in-Figures-2024.pdf>>. Acesso em: 11 julho 2024.

YUE, Q.; ZHANG, C. B.; WANG, X. Z. Mathematical simulation for effects of flow control devices in two-strand slab tundish. Metalurgija, [s. l.], v. 56, n. 1–2, p. 126–130, 2017.

ZHAO, L.-H.; WANG, M.; LI, N. Optimization of flow control devices in a 40-t single strand tundish. Gongcheng Kexue Xuebao/Chinese Journal of Engineering, [s. l.], v. 37, n. 3, p. 373–377, 2015.