

É seguro utilizar aços inoxidáveis austeníticos Cr-Mn na indústria alimentícia? Uma revisão sistemática

Is it safe to use Cr-Mn austenitic stainless steels in the food industry? A systematic review

DOI: 10.55905/oelv22n1-095

Recebimento dos originais: 01/12/2023

Aceitação para publicação: 02/01/2024

Leonardo de Vargas Pellegrini

Mestrando em Tecnologia e Engenharia de Materiais

Instituição: Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS) – campus Feliz

Endereço: Rua Princesa Isabel, 60, Feliz - RS

E-mail: leovp52@hotmail.com

Cíntia Gabriely Zimmer

Doutor em Ciência e Tecnologia dos Materiais pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PPG3M – UFRGS)

Instituição: Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS) – campus Feliz

Endereço: Rua Princesa Isabel, 60, Feliz - RS

E-mail: cinthia.zimmer@feliz.ifrs.edu.br

RESUMO

Na indústria alimentícia os aços inoxidáveis Cr-Ni são amplamente reconhecidos por suas propriedades satisfatórias frente às condições de serviço. Por razões de custo, eles vêm sendo substituídos pelas ligas Cr-Mn. Aliado a isso, novas composições químicas dessa família surgiram e estão sendo comercializadas, porém, elas não se enquadram nos padrões de normas técnicas internacionais. Assim, esse artigo tem o objetivo de apresentar uma revisão sistemática sobre a utilização de aços inoxidáveis Cr-Mn em ambientes comumente encontrados na indústria alimentícia. Para tanto, foi feita uma pesquisa bibliométrica utilizando a técnica de *science mapping* aliada ao *bibliometrix*. As buscas foram realizadas nas bases de dados da *Web of Science* e *Scopus* utilizando as palavras-chave: "*chromium-manganese stainless steel*" OR "*Cr-Mn*" OR "*low-nickel stainless steel*" OR "*non-standard stainless steel*" OR "*borderline stainless steel*" OR "*counterfeit stainless steel*" OR "*AISI 201*" e "*corrosion*" OR "*food contact*" OR "*pitting*" OR "*weight loss*" OR "*simulated food*" OR "*acetic acid*". Resultaram dessa busca 268 artigos, publicados entre os anos de 2005 e 2023, os quais foram analisados. Em suma, verificou-se que os aços Cr-Mn normatizados têm demonstrado seu uso seguro para aplicações na indústria alimentícia. Quanto às ligas Cr-Mn não normatizadas foram

encontrados poucos artigos relacionados ao uso no ramo alimentício. No entanto, esses estudos apontaram que essas novas ligas apresentam restrições em ambientes corrosivos, precisando ter cautela em aplicações na indústria alimentícia.

Palavras-chave: aços inoxidáveis Cr-Mn, aço inoxidável com baixo teor de níquel, contato alimentar, corrosão, mapeamento científico bibliométrico, indústria alimentícia.

ABSTRACT

In the food industry, Cr-Ni stainless steels are widely recognized for their satisfactory properties under service conditions. For cost reasons, they have been replaced by Cr-Mn alloys. In addition to this, new chemical compositions from this family have emerged and are being commercialized, however, they do not meet international technical standards. Therefore, this article aims to present a systematic review on the use of Cr-Mn stainless steels in environments commonly found in the food industry. To this end, bibliometric research was carried out using the *science technique mapping* combined with *bibliometrix*. The searches were carried out in the *Web of Science* and *Scopus* using the keywords: " *chromium-manganese stainless steel* " OR " *Cr-Mn* " OR " *low-nickel stainless steel* " OR " *non-standard stainless steel* " OR " *borderline stainless steel* " OR " *counterfeit stainless steel* " OR " *AISI 201* " and " *corrosion* " OR " *food contact* " OR " *pitting* " OR " *weight loss* " OR " *simulated food* " OR " *acetic acid* ". This search resulted in 268 articles, published between 2005 and 2023, which were analyzed. In summary, it was found that standardized Cr-Mn steels have demonstrated their safe use for applications in the food industry. As for alloys Non-standardized Cr-Mn, few articles related to use in the food industry were found. However, these studies showed that these new alloys present restrictions in corrosive environments, requiring caution in applications in the food industry.

Keywords: Cr-Mn austenitic stainless steel, low-nickel stainless steel, food contact, corrosion, bibliometric science mapping, food industry.

1 INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis austeníticos encontram ampla aplicação na indústria devido à sua notável resistência à corrosão, boa conformabilidade e apreciáveis propriedades mecânicas (TANG; LIU; YANG, 2022). Esta classe de aços é dividida em duas categorias distintas: a série 300 (Cr-Ni), caracterizada por elevadas quantidades de cromo e níquel, e a série 200 (Cr-Mn), na qual o níquel é parcialmente substituído por manganês e nitrogênio (GAO; ZHENG, 2015). Devido à elevação do preço do níquel, os aços Cr-Mn têm sido objeto de interesse crescente nos últimos anos, visto que em média, costumam consideravelmente menos que os aços inoxidáveis Cr-Ni (OSHIMA; HABARA;

KURODA, 2007). No entanto, devido à menor proporção de cromo e níquel nas ligas, a resistência à corrosão dos aços Cr-Mn é inferior se comparada aos Cr-Ni (GABER et al., 2021).

Por questões de custo a aplicação industrial desses aços vem crescendo nos últimos anos, porém são relatadas diversas falhas prematuras em componentes devido a substituição inadequada de aços da série 300 pela série 200, principalmente envolvendo problemas relacionados com a corrosão (CHU et al., 2021). Outra questão é que devido à grande demanda desses materiais no continente asiático, muitas siderúrgicas menores começaram a produzir seus próprios tipos aços Cr-Mn, diminuindo cada vez mais o percentual de cromo e níquel na composição química e adicionando manganês. Porém esses novos aços não se enquadram em nenhuma classificação internacional e devido ao menor teor de cromo e níquel, os mesmos têm uma resistência à corrosão inferior (CHARLES, 2005).

A indústria alimentícia é um dos setores onde esses aços são amplamente empregados (MAZINANIAN et al., 2016). Diversas diretrizes técnicas foram implementadas para assegurar a adequação e a segurança da aplicação de materiais que têm contato com produto alimentar (COE, 2013). O protocolo de teste europeu (COE) utiliza ácido cítrico como simulador alimentar, já a lei italiana utiliza ácido acético para simular esse ambiente (MAZINANIAN; WALLINDER; HEDBERG, 2014). No Brasil a ANVISA estabelece uma resolução com uma lista positiva de materiais que podem ser utilizados em contato com alimentos (ANVISA, 2014). Dessa forma, engenheiros e projetistas se baseiam nessas normas para definir o material a ser aplicado nesses equipamentos.

O Rio Grande do Sul contempla o segundo maior polo metal mecânico do país, situado na cidade de Caxias do Sul (SECRETARIA DE PLANEJAMENTO ORÇAMENTO E GESTÃO, 2019). Nas proximidades desta cidade, encontra-se o município de Bento Gonçalves. Juntamente com Flores da Cunha e Caxias do Sul, essa região abriga 28% das indústrias do setor de bebidas no estado (SECRETARIA DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO, 2019). Essa conjectura econômica deu

origem a diversas empresas fabricantes de equipamentos de envase nessa região que são referências nacionais.

Grande parte dos componentes utilizados nos maquinários desse ramo são fabricados em aços inoxidáveis Cr-Ni, principalmente o AISI 304 (18Cr-8Ni), pois o mesmo é aceito em todos os protocolos citados anteriormente. Esse aço é utilizado em várias partes de equipamentos, inclusive em áreas onde não há contato direto com o alimento. Contudo, por motivos de custos, em áreas do equipamento com menor propensão à corrosão, o material de muitos componentes tem sido substituído por aços Cr-Mn, principalmente o AISI 201. Devido à falta de conhecimento desses aços na indústria, diversos problemas relacionados com a corrosão começaram a aparecer (APERAM, 2023).

No Brasil, têm sido relatados problemas com a falsificação de aços inoxidáveis. Muitos aços vendidos como sendo AISI 201 e AISI 304, estão com o teor de cromo e níquel menor do que o exigido pela norma. Dessa forma o risco de corrosão e complicações com produtos alimentares aumenta drasticamente (APERAM, 2023). Muitas empresas fabricantes de equipamentos, não possuem os meios para verificar essa composição e acabam se baseando nos laudos técnicos emitidos pelos fornecedores. Além do mais, os aços inoxidáveis Cr-Mn não são magnéticos, ficando dessa maneira ainda mais difícil de distingui-los em relação aos aços Cr-Ni (TAIWADE; PATRE ; PATIL, 2011).

Com base nisso, o propósito deste estudo é realizar uma revisão sistemática de artigos que exploraram a utilização de aços inoxidáveis Cr-Mn em ambientes corrosivos. Na indústria alimentícia, os equipamentos estão expostos a diversos meios agressivos. Além do próprio alimento ou bebida, o ambiente industrial, a limpeza das máquinas e o próprio armazenamento da mesma, oferece diversos riscos corrosivos. Além disso, este estudo tem como objetivo fornecer informações aos projetistas sobre o conhecimento atual acerca da utilização desta categoria de aços em tais ambientes, a fim de auxiliá-los na escolha do material adequado.

2 METODOLOGIA DE PESQUISA

A metodologia de pesquisa foi definida com o objetivo de encontrar artigos que estudaram os aços inoxidáveis Cr-Mn a partir do ano de 2005, considerando os aços presentes em normas internacionais até os com composição química fora de qualquer padrão. O primeiro conjunto de palavras-chave foi baseado nos tipos de aços, já o segundo foi focado na corrosão e no contato com alimentos. Nenhum filtro de idioma foi aplicado.

A revisão sistemática utilizada neste trabalho foi realizada através de uma pesquisa bibliométrica, utilizando uma técnica de *science mapping* aliada ao *bibliometrix* (BALDAM, 2020). O *bibliometrix* é a biblioteca do R, que é uma ferramenta de código aberto, os resultados encontrados nesta pesquisa são apurados pelo *software* RStudio. As buscas foram realizadas nas bases de dados da *Web of Science* e da *Scopus*, utilizando o conjunto de palavras-chave apresentadas na Tabela 1 (BALDAM, 2020).

Tabela 1: Palavras chaves e filtros

		Resultados
Web of Science	Palavras chaves "chromium-manganese stainless steel" OR "Cr-Mn" OR "low-nickel stainless steel" OR "non-standard stainless steel" OR "borderline stainless steel" OR "counterfeit stainless steel" OR "AISI 201" AND "corrosion" OR "food contact" OR pitting OR "weight loss" OR "simulated food" OR "acetic acid"	436
	Filtro 1	Articles 382
	Filtro 2	Review 7
	Filtro 3	Data da publicação: 2005 - 2023 317
	Total	317
Scopus	Palavras chaves "chromium-manganese stainless steel" OR "Cr-Mn" OR "low-nickel stainless steel" OR "non-standard stainless steel" OR "borderline stainless steel" OR "counterfeit stainless steel" OR "AISI 201" AND corrosion OR "food contact" OR pitting OR "weight loss" OR "simulated food" OR "acetic acid"	538
	Filtro 1	Articles 438
	Filtro 2	Review 8
	Filtro 3	Data da publicação: 2005 - 2023 280
	Total	280

Fonte: O autor, 2023

Os artigos duplicados foram excluídos, totalizando assim 268 trabalhos. Esses, foram compilados em uma planilha automatizada com diversos filtros (BALDAM, 2020). Nessa planilha os artigos que tivessem conceito B ou C no *Qualis* Periódicos da CAPES receberam o critério de exclusão. Na sequência um novo filtro de palavras-chaves foi aplicado na planilha, cada palavra chave recebeu o valor de um ponto, sendo que os artigos que obtivessem a maior pontuação seriam selecionados. Utilizou-se as seguintes palavras-chave: simulated food, Cr-Mn, corrosion, low-nickel, acetic acid, Cr-Mn-Ni-N, acid, food contact, chromium-Manganese, metal release, weight loss, deformation e 200 series. Dessa forma, os 17 artigos que obtiveram a maior pontuação e estudaram aços inoxidáveis Cr-Mn seriam escolhidos. Além do mais, artigos que não apresentaram a composição química do material estudado também foram excluídos. A Tabela 2 apresenta os artigos escolhidos e o percentual de cromo, níquel e manganês em cada um deles.

Tabela 2: Artigos selecionados

Autor	Norma AISI	Norma UNS	Composição química			O que estudou
			% Cr	% Ni	% Mn	
(VASHISHTHA; TAIWADE; SHARMA, 2017)	201	S20100	17,4	3,8	5,9	Corrosão em ácido cítrico
(MAZINANIAN; WALLINDER; HEDBERG, 2014)	201	S20100	16,9	3,6	5,8	Comparação entre simuladores alimentares
(MAZINANIAN et al., 2016)	201	S20100	16,9	3,6	5,8	Perda de metais em um simulador alimentar
	204	S20431	15,9	1,1	9,1	
(RAO; SINGHAL, 2010)	204	S20430	17,7	4,5	6,2	Corrosão em ácido acético
(LIU et al., 2022)	Sem norma	Sem norma	13,6	1,2	10,1	Comportamento corrosivo de um aço inoxidável deformado a frio
(GABER et al., 2021)	201	S20100	17,5	3,7	7,4	Tratamento superficial para aumentar resistência a corrosão em meios ácidos
(DALIPI et al., 2016)	202	S20200	17,3	5,2	8,2	Perda de metais em um simulador alimentar
(LIU et al., 2019)	-	Sem norma	13,6	1,2	10,1	Susceptibilidade de corrosão intergranular em um aço inoxidável
(RAO; SINGHAL, 2009)	201	S20100	17,7	4,5	6,2	análise eletroquímica da formação de filme passivo em aço inoxidável
	204	S20400	16,3	1,7	8,6	



(BANSOD et al., 2019)	-	Sem norma	16,5	0,2	9,1	Avaliação microestrutural, mecânica e eletroquímica de uma solda dissimilar entre aços inoxidáveis
(BANSOD; PATIL; SHUKLA, 2020)	202	S20200	17,5	3,8	8,4	Avaliação eletroquímica de um aço inoxidável em ácido sulfúrico
(BANSOD et al., 2017)	-	Sem norma	16,5	0,2	9,1	Avaliação microestrutural da solda de aços inoxidáveis
(TAIWADE ; PATRE ; PATIL, 2011)	-	Sem norma	13,2	0,2	12,3	Sensitização na soldagem de aços inoxidáveis
(CHU et al., 2021)	-	Sem norma	10,1	1,2	10,1	Corrosão sob tensão por cloreto de um aço inoxidável sem norma
(FENG et al., 2019)	-	Sem norma	14,7	0,9	9,3	Comportamento corrosivo de um aço inoxidável em água subterrânea
(TANG; LIU; YANG, 2022)	-	Sem norma	13,2	2,1	11,1	Comparação microestrutural entre aços inoxidáveis
(FAJARDO et al., 2014)	-	Sem norma	16,6	4,3	7,3	Comportamento corrosivo de um aço inoxidável sem norma

Fonte: O autor, 2023

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 MAPEAMENTO CIENTÍFICO

O mapeamento científico foi realizado com os 268 trabalhos analisados pelo *software* RStudio. O objetivo dessa análise foi entender como as pesquisas dos aços Cr-Mn estão acontecendo em todo mundo. Também analisar quais são os países, autores e revistas que mais publicaram trabalhos sobre essa classe de material. Dessa forma a Tabela 3 apresenta as 10 revistas que mais publicaram artigos e a Tabela 4 apresenta os principais autores desses 268 artigos analisados. O número de pesquisas dessa família de aço cresceu em média 3,9% ao ano desde 2005. Outro aspecto abordado nesta pesquisa foi a identificação dos países que mais se dedicam à investigação deste tópico. Dessa forma, foi gerado no *Software* RStudio com auxílio do pacote Bibliometrix um mapa que apresenta os países que mais apareceram nos resultados de buscas de artigos neste

trabalho. A Figura 1 apresenta esse mapa, conforme o tom de azul fica mais escuro, maior é a incidência de trabalhos nesse país.

Tabela 3: Revistas que mais publicaram artigos selecionados

Revistas	Artigos
Corrosion science	15
Advanced materials research	9
Applied surface science	9
Isij international	7
Journal of materials engineering and performance	7
Materials science forum	7
IOP conference series: materials science and engineering	6
Anti-corrosion methods and materials	5
Jinshu rechuli/heat treatment of metals	5
Journal of power sources	5

Fonte: O autor, 2023

Tabela 4: Autores que mais publicaram artigos selecionados

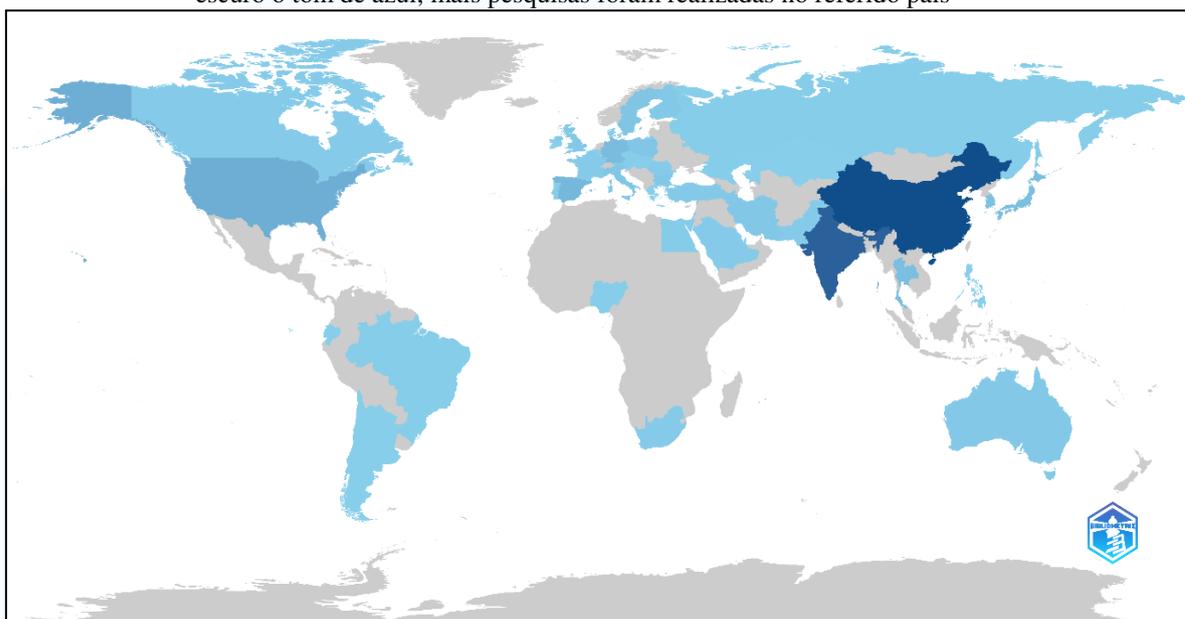
Autores	Artigos
PATIL A.	18
ZHANG J.	11
BANSOD A.	10
GOPI D.	9
ZHANG L.	8
FAJARDO S.	7
KOSTINA M.	7
LI J.	7
SHUKLA S.	7
TAIWADE R.	7

Fonte: O autor, 2023

Analisando o mapa da Figura 1 é possível notar que a Índia e a China são os países que mais estudaram essa família de aço, na sequência vem Estados Unidos, Alemanha e a Espanha. O que explica esse fator é que no início do século XXI o governo indiano limitou as importações de níquel no país. Nesse mesmo período a China começou a crescer em um ritmo acelerado, necessitando cada vez mais de materiais. Esses fatores

somados, geraram diversas pesquisas e novos tipos de aços inoxidáveis, com cada vez menos níquel e muitas vezes fora de qualquer padrão internacional (CHARLES, 2005).

Figura 1: Mapa com os países que mais pesquisam aços inoxidáveis austeníticos Cr-Mn. Quanto mais escuro o tom de azul, mais pesquisas foram realizadas no referido país



Fonte: O autor, 2023

3.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS E MICROESTRUTURA

Esse tópico irá abordar brevemente algumas considerações importantes sobre as propriedades mecânicas e a microestrutura dos aços austeníticos Cr-Mn. Apesar de não ser o tema principal do trabalho, essas propriedades interferem diretamente na escolha da utilização dessa classe de material.

Esses aços apresentam propriedades mecânicas superiores em relação aos aços inoxidáveis Cr-Ni (GABER et al., 2021). Esse fator ocorre devido a transformação martensítica e o efeito das discordâncias, aumentando assim a resistência mecânica (TANG; LIU; YANG, 2022). Apesar da diminuição do teor de níquel nesses aços, sua estrutura se mantém austenítica devido a presença de elementos de liga como manganês, nitrogênio e cobre (MAZINANIAN et al., 2016). Essa microestrutura proporciona elevada ductilidade, conformabilidade e soldabilidade (RAO; SINGHAL, 2010). A Tabela 5 apresenta as propriedades mecânicas dos aços estudados neste trabalho presentes

na norma ASTM A240. Os aços sem norma não foram incluídos na tabela. Na última linha, para efeito de comparação, foi incluído o aço tipo AISI 304 (S30400), aço da família Cr-Ni mais comumente utilizado.

Tabela 5: Propriedades Mecânicas dos aços normalizados dos trabalhos incluídos na revisão. Segundo a norma ASTM A240.

Norma UNS	Norma AISI	Resistência à tração (MPa)	Dureza Brinell	Alongamento (%)
S20100	201	655	241	40
S20200	202	620	241	40
S20400	204	655	241	35
S20431	204	620	241	40
S30400	304	515	201	40

Fonte: O autor, 2023

Analisando os dados da Tabela 5 é possível entender a importância dos aços Cr-Mn em projetos estruturais. Tang, Liu e Yang (2022), compararam as propriedades mecânicas de um aço Cr-Mn-Ni em relação ao aço Cr-Ni. Os autores concluíram que o aço Cr-Mn-Ni tem resistência mecânica e dureza superiores, já o aço Cr-Ni tem uma maior plasticidade. Essas propriedades possibilitam que haja diminuição no peso de componentes fabricados com aços Cr-Mn em relação a aços da família Cr-Ni. Liu et al. (2019), estudou a resistência à corrosão intergranular de um novo aço inoxidável Cr-Mn desenvolvido pela BaoSteel Co da China. Esse novo aço tem resistência a tração superior a 1000 MPa, sendo assim considerado um material de alta resistência. Aplicações no ramo automotivo estão sendo estudadas para esse aço.

3.3 SOLDABILIDADE

A soldagem é um processo amplamente utilizado na indústria alimentícia (BANSOD et al., 2017). Vasos de pressão, estruturas de equipamentos e conjuntos mecânicos em geral recebem algum tipo de soldagem (BANSOD et al., 2019). Um dos principais problemas da solda em aços inoxidáveis austeníticos é a sensitização (MOU et al., 2023). Quando o aço é aquecido em temperaturas entre 500°C e 900°C o cromo migra para os contornos de grão, diminuindo o percentual desse elemento no grão e reduzindo a resistência à corrosão dessa liga (DAI et al., 2022). Um menor teor de carbono no aço

reduz o efeito da sensitização. Dessa forma foram criados os aços inoxidáveis austeníticos de baixo teor de carbono (MOU et al., 2023). Os mesmos recebem a letra “L” no final da referência (201L, 304L, 316L). O propósito deste tópico é comentar as descobertas dos artigos selecionados em relação à soldagem e sua relação com a corrosão. A Tabela 6 apresenta um resumo relatando as principais descobertas desses artigos.

Tabela 6: Artigos selecionados nesta revisão que estudaram a soldagem em aços Cr-Mn

Autor	Liga estudada	O que foi avaliado	Resultados encontrados
(TAIWADE ; PATRE ; PATIL, 2011)	Aço inoxidável Cr-Mn sem norma (Tabela 2)	Sensitização em amostras soldadas	<ul style="list-style-type: none"> - Houve sensitização nas amostras soldadas; - Valores críticos para sensitização: 641°C (limite inferior) e 831°C (limite superior); - Taxa crítica de resfriamento: 4,71°C; - Zona termicamente afetada: 2 mm;
(BANSOD et al., 2017)	Aço inoxidável Cr-Mn sem norma (Tabela 2)	Microestrutura e comportamento corrosivo de uma junta soldada por arco elétrico com eletrodo revestido, variando a corrente (70 A, 85 A e 100 A)	<ul style="list-style-type: none"> - Uma maior entrada de calor diminui o teor de ferrita delta na região de solda; - Sendo assim, a maior resistência a tração e maior dureza são encontradas nas amostras soldadas com a menor corrente;
(BANSOD et al., 2019)	Aço inoxidável Cr-Mn sem norma (Tabela 2)	Soldagem (TIG) de uma junta dissimilar entre um aço Cr-Mn sem norma com um aço AISI 304. Com diferentes eletrodos (308L, 316 L e 310)	<ul style="list-style-type: none"> - Eletrodos 308L, 316L e 310 são adequados para soldar a junta estudada; - No ensaio de tração a junta fraturou no lado do aço AISI 304, indicando maior resistência do metal de base; - Houve presença de alta taxa de corrente galvânica no aço Cr-Mn sem norma perto da zona soldada

Fonte: O autor, 2023

3.4 APLICAÇÃO DE AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS CR-MN EM CONTATO ALIMENTAR

Partes de equipamentos da indústria alimentícia podem ou não ter contato direto com o produto final. No caso de contato direto, existem normas que auxiliam a escolha de materiais adequados (COE, 2013). Esse tópico tem como objetivo comentar sobre algumas das principais normas alimentares vigentes em diversas partes do mundo. Será

resumido o que as mesmas falam sobre os materiais que podem ter contato direto com o alimento. Também serão apresentados os resultados encontrados pelos autores selecionados nesta revisão.

Na Itália um decreto ministerial de 1973, declarou que todo material metálico que entrasse em contato direto com o alimento, deveria ser submetido a um teste de liberação de metal. Os testes seriam feitos em água destilada, ácido acético a 3% em volume ou óleo de girassol, simulando assim alguns ambientes alimentares (ITÁLIA, 1973). Em 2013 um novo protocolo foi implementado pelo conselho europeu (CoE) substituindo o antigo decreto italiano. Nesse novo protocolo os materiais deveriam ser submetidos a testes de imersão com a presença de 5 g/L de ácido cítrico (pH 2,4 - 0,3% Vol.) ou água artificial da torneira DIN 10531. Após, a liberação de metais deveria ser avaliada (COE, 2013).

No Brasil, a agência nacional de vigilância sanitária (ANVISA) estabelece uma lista positiva de materiais que podem ser utilizados em contato alimentar (ANVISA, 2007). Nenhuma informação foi encontrada na literatura explicando como essa lista foi definida. O único aço Cr-Mn presente nessa lista é o AISI 202. A Tabela 7 apresenta a lista positiva de materiais a ser utilizados em contato alimentar (ANVISA, 2007).

Tabela 7: Lista positiva da RDC nº 20 da ANVISA de matérias-primas para embalagens e equipamentos metálicos

AISI	UNS	Normas EN	AISI	UNS	Normas EN
202	S 20200		416	S 41600	14.005
301	S 30100	14.310	420	S 42000	14.028
302	S 30200		430	S 43000	14.016
303	S 30300	14.305	430 F	S 43000	14.016
303 Se	S 30323		431	S 43100	14.057
304	S 30400	14.301			14.110
304L	S 30403	14.307			14.116
305	S 30500	14.303	444	S 44400	14.521
308			439	S 43035	14.510
316	S 31600	14.401		S 41050	14.003

316L	S 31603	14.404	S 32304	14.362
321	S 32100	14.541	S 31803	14.462
347	S 34700	14.550	S 32760	14.501
410	S 41000	14.006		

Fonte: Anvisa (2007)

Nos Estados Unidos a NSF *international* é uma instituição independente, que exerce responsabilidade na segurança alimentar. Esse órgão juntamente com o *The American National Standards Institute* (ANSI) descreve as certificações NSF/ANSI. A norma NSF/ANSI 51 descreve requisitos mínimos para aplicação de materiais em equipamentos alimentícios (INDUSTRIAL SPECIALTIES MFG. & IS MED SPECIALTIES, 2019). Dessa forma a NSF/ANSI 51 – 1997, comenta que os aços inoxidáveis da série 2xx, 3xx e 4xx podem ser usados em contato alimentar, desde que seu percentual de cromo seja acima de 16% (NSF INTERNATIONAL, 1997).

Nessa revisão foram encontrados apenas artigos que estudaram os aços inoxidáveis Cr-Mn seguindo o protocolo europeu CoE e o protocolo italiano. A Tabela 8 apresenta os principais resultados encontrados nesses trabalhos.

Tabela 8: Artigos encontrados nessa revisão sistemática que analisaram a liberação de metais segundo protocolos internacionais.

Autor	Liga estudada	O que foi avaliado	Resultados encontrados
(MAZINIAN; WALLINDER; HEDBERG, 2014)	AISI 201	Comparou-se o protocolo italiano de liberação de metais com o protocolo europeu (CoE)	<ul style="list-style-type: none"> - Os testes demonstraram que as condições do protocolo europeu (CoE) são mais agressivas se comparadas ao protocolo italiano; - O nível de liberação de todos os metais se apresentou abaixo dos limites de liberação específicos (SLRs); - Parâmetros como abrasão da superfície, aumento da temperatura, maior relação entre área superficial e volume de solução fizeram com que a liberação de metais aumentasse; - Cromo foi liberado de forma trivalente, não tóxico para humanos;



(MAZINANIAN et al., 2016)	AISI 201 AISI 204	Estudou-se a exposição de diversos aços inoxidáveis aos testes sugeridos pelo protocolo CoE. Testes em ácido cítrico e água artificial da torneira DIN 10531.	<ul style="list-style-type: none"> - A liberação de metais foi menor que o limite estabelecido pelo protocolo para todos os aços testados; - Em água artificial da torneira a liberação de metais foi menor ainda; - Quanto maior o teor de cromo na liga, menor o nível de liberação de metais; - Ferro e manganês tiveram os maiores níveis de liberação, já o níquel teve a menor;
(DALIPI et al., 2016)	AISI 202	Analísou-se seis tipos de aços inoxidáveis aceitos para contato alimentar segundo o protocolo italiano	<ul style="list-style-type: none"> - Aços testados: AISI 420, AISI 430, AISI 202, AISI 303, AISI 304 e AISI 316; - A análise foi realizada por meio de fluorescência de raio X; - A menor quantidade de metais foi liberada pelos aços AISI 202 e AISI 430; - O aço AISI 420 apresentou níveis de liberação acima do permitido pelo protocolo europeu (CoE);

Fonte: O autor, 2023

3.5 APLICAÇÃO DE AÇOS INOXIDÁVEIS CR-MN EM DIVERSOS MEIOS CORROSIVOS

Os equipamentos utilizados na indústria alimentícia são expostos aos mais diferentes ambientes corrosivos. Sendo assim esse tópico tem como objetivo apresentar os meios corrosivos estudados nos artigos selecionados. Apresentando como os aços Cr-Mn se comportaram. A Tabela 9 demonstra o ambiente estudado por cada autor selecionado e também os principais resultados encontrados.

Tabela 9: Meios corrosivos estudados pelos autores selecionados na revisão e principais resultados encontrados

Autor	Meio testado	Principais resultados
(VASHISHTHA; TAIWADE; SHARMA, 2017)	Ácido acético (CH ₃ COOH) (40% vol.)	O aço AISI 430 pode ser um substituto ao aço AISI 304 em um ambiente contendo ácidos orgânicos, tanto em temperatura ambiente como em temperatura de ebulição. Já o aço AISI 201 pode substituir o aço AISI 304 nesse meio apenas em temperatura ambiente.
(MAZINANIAN; WALLINDER; HEDBERG, 2014)	Ácido acético (3% vol.), Ácido cítrico (0,3% vol.)	Realizar exposições repetidas (3-3 minutos) nas soluções do teste, resultou em consideráveis reduções na quantidade de metais liberados. Essa redução ocorre devido a passivação natural do aço.



(MAZINANIAN et al., 2016)	Ácido cítrico (C ₆ H ₈ O ₇) (0,3% vol.)	Não observaram nenhuma corrosão ativa em amostras de aço AISI 201 e AISI 204 em solução de ácido cítrico (0,3% Vol.)
(RAO; SINGHAL, 2010)	Simulador alimentar contendo ácido acético	A corrosão eletroquímica entre os aços AISI 204 e AISI 304 são equivalentes. Em temperatura de ebulição a taxa de corrosão do aço AISI 304 é menor se comparada ao aço AISI 204. Temperatura crítica de corrosão do AISI 204 é 75°C.
(LIU et al., 2022)	1% NaCl	O processo de laminação a frio potencializa a taxa de corrosão de um aço Cr-Mn-Ni.
(GABER et al., 2021)	1 mol·L 1 H ₂ SO ₄ contendo 0.5–1.5% NaCl	Eletro depositar TiO ₂ com cério em um aço AISI 201 aumenta a resistência a corrosão em meios ácidos. Esse revestimento diminuiu a taxa anual de corrosão em 50%.
(DALIPI et al., 2016)	Ácido acético (3% vol.)	A presença de enxofre acelera a liberação de manganês em metais, formado sulfetos.
(LIU et al., 2019)	0.1 mol 1 H ₂ SO ₄ , 0.002 mol KSCN, 10% ácido oxálico	A temperatura de sensibilização de um aço Cr-Mn é estimada entre 700°C à 750°C. Esse processo forma Cr ₂₃ C ₆ e Cr ₂ N nos contornos de grão. Fato que ocasiona corrosão intergranular.
(RAO; SINGHAL, 2009)	1 mol·L 1 H ₂ SO ₄	A ação do cobre nos aços AISI 201 e AISI 204 é benéfica para o filme passivo.
(BANSOD et al., 2019)	-	A maior resistência à corrosão por pites ocorreu na junta soldada com o eletrodo 316L.
Continua		
(BANSOD; PATIL; SHUKLA, 2020)	Concentrações de H ₂ SO ₄ com 0.1 mol NH ₄ SCN	Ácido sulfúrico aumenta a taxa de corrosão, principalmente se a solução estiver em temperaturas acima de 80°C.
(BANSOD et al., 2017)	-	Amostras soldadas com a menor corrente apresentaram maior resistência à corrosão por pites. Isso ocorreu devido ao maior teor de ferrita delta nessa região, estrutura que promove um maior teor de cromo se comparada à fase austenita.
(TAIWADE ; PATRE ; PATIL, 2011)	-	Amostras soldadas sensibilizaram nas condições de testes.
(CHU et al., 2021)	água destilada - 3.5% NaCl	Impurezas como enxofre e fósforo reduzem a resistência a corrosão em aços inoxidáveis. Esses elementos são comumente encontrados em aços inoxidáveis Cr-Mn sem norma devido a esses aços serem produzidos em pequenas usinas.
(FENG et al., 2019)	Água subterrânea simulada	A deformação acelera a taxa de corrosão em um aço inoxidável austenítico 14Cr10Mn. Fato potencializado pelo baixo teor de níquel nesse aço.

(TANG; LIU; YANG, 2022)	Ar, 3.5% NaCl, 0.5% NaOH + 3.5% NaCl	A resistência a corrosão de um aço Cr-Ni é superior a de um aço Cr-Mn-Ni quando os aços são expostos a cargas trativas.
(FAJARDO et al., 2014)	Solução carbonatada	O efeito da carbonatação diminui a resistência a corrosão de um aço Cr-Mn. A resistência a corrosão de um aço Cr-Mn é menor se comparada a um aço Cr-Ni no meio testado.

Fonte: O autor, 2023

3.6 FALSIFICAÇÃO DE AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS CR-MN

A falsificação de aços inoxidáveis é um assunto que preocupa produtores de equipamentos industriais. No Brasil há relatos de aços vendidos como AISI 201 ou AISI 304, porém quando é feita a análise química desses materiais nota-se que os percentuais de cromo e níquel estão bem abaixo dos estipulados em normas (APERAM, 2023). Dessa forma, esse tópico irá abordar relatos encontrados na literatura que estudaram a falsificação desses materiais. A presente revisão sistemática encontrou apenas um trabalho que mencionou esse tópico. Sendo assim, esse capítulo além de abordar esse trabalho, irá comentar relatos encontrados em uma pesquisa aberta.

Aços inoxidáveis Cr-Mn sem norma apresentam resistência corrosiva consideravelmente inferior ao aço AISI 304. Tanto a resistência corrosiva geral, por pites, em frestas, sobtensão e intergranular. Esses aços não devem ser usados em condições corrosivas industriais, marítimas e nem em sistemas de água. A introdução desses aços no mercado dificulta a reciclagem, devido a contaminação da sucata. Por causa da falta de normas para esses aços, a rastreabilidade de materiais fica comprometida, pois cada fabricante pode fazer seu aço Cr-Mn da forma que desejar (CHARLES, 2005).

Chu et al. (2021), estudaram um aço inoxidável que estava sendo vendido como AISI 201, porém com composição química divergente do exigido pela norma. Os autores realizaram ensaios de tração ao ar, em NaCl a 3,5% e também em água destilada. Amostras de aço AISI 304 também foram testadas com intuito de comparar os resultados. A Tabela 10 apresenta a composição química do aço estudado pelos autores em relação ao aço estipulado em norma.

Tabela 10: Composição química do aço estudado e composição nominal do aço AISI 201

	Cr	Mn	Ni	Mo	Si	Cu	S	P	C	N
Aço estudado	10.11	10.12	1.21	0.04	0.52	2	0.08	0.03	0.30	0.09
Aço AISI 201	16 - 18	5.5 - 7.5	3.5 - 5.5	-	1.00	-	0.03	0.06	0.15	0.25

Fonte: Adaptado de Chu et al. (2021)

Os autores afirmaram que o aço Cr-Mn sem norma apresentou resultados de ductilidade e de resistência à tração ao ar superior ao AISI 304, apesar do elevado teor de fósforo e enxofre. Nos ambientes contendo água e NaCl o aço sem norma apresentou redução de resistência mecânica. Dessa forma, os autores sugerem cuidados na aplicação desse material em meios corrosivos relativamente benignos. A fractografia realizada após a ocorrência da falha na amostra, revelou que as falhas são predominantemente intergranulares. É possível que essa estrutura tenha sido causada pelo excesso de enxofre e fósforo presentes no material. Os autores concluem o artigo afirmando que precauções devem ser tomadas mesmo se esses aços forem aplicados em ambientes com baixa corrosividade.

Aperam (2023), publicou uma série de ensaios comparando a resistência à corrosão de aços da série 300, como o AISI 304, em relação a um aço que estava sendo vendido como AISI 201, porém com composição química diferente do estipulado em normas. Nesse artigo esse aço será chamado de aço Cr-Mn sem norma. A Tabela 11 apresenta a composição química dos materiais usados nos testes, como também a composição química esperada por norma.

Os ensaios de imersão nesse estudo foram realizados em diversos meios corrosivos. Além disso, foram realizados testes em névoa salina. Em todos os meios estudados foi observado uma resistência à corrosão relativamente superior do aço AISI 304 em relação ao aço Cr-Mn sem norma. A Tabela 12 apresenta o número de pites encontrados após 14 dias de imersão em hipoclorito de sódio 2,5%. Deve-se observar que o aço descrito como AISI 201 é na verdade o aço Cr-Mn sem norma, que tem a composição química informada na Tabela 11. O acabamento superficial está descrito após a nomenclatura do aço.

Tabela 11: Composição química dos aços testados e de suas respectivas normas

Especificação composição química AISI 304 conforme ASTM A240 / A240 M									
Cr	Ni	C	Mn	N	Cu	P	S	Mo	Si
18-20	8-11	0,08	2,00	0,10	-	0,045	0,75	-	0,75
Valores encontrados nas amostras de AISI 304									
Cr	Ni	C	Mn	N	Cu	P	S	Mo	Si
18,28	8,01	0,05	1,22	0,05	0,23	0,03	0,003	0,12	0,44
Especificação composição AISI 201 química conforme ASTM A240 / A240 M									
Cr	Ni	C	Mn	N	Cu	P	S	Mo	Si
16-18	3,5-5,5	0,15	5,5-7,5	0,25	-	0,06	0,03	-	1,00
Valores encontrados nas amostras de aço vendido como "AISI 201"									
Cr	Ni	C	Mn	N	Cu	P	S	Mo	Si
12,9	1,16	0,14	9,44	0,15	0,25	0,04	0,001	0,006	0,46

Fonte: Adaptado de Aperam (2023)

Tabela 12: Número de pites em cada amostra após 14 dias de imersão em Hipoclorito de sódio 2,5%

Susceptibilidade à corrosão por pite	Aço/Acabamento	Nº Médio de pites por corpo de provas
Menos susceptível	304 2B	0
	439 NR4	0
	439 2B	0,7
	304 NR4	3
	430 NR4	21
	430 2B	27
	201 BA	33
	410 2B	35
	201 2B	78
	202 2D	81
Mais susceptível	201 NR4	113

Fonte: Adaptado de Aperam (2023)

O aço AISI 304 apresentou também 2,3 vezes mais resistência à corrosão por frestas do que o aço Cr-Mn sem norma. Um teste em névoa salina também foi realizado. A Tabela 13 apresenta o número de pites encontrados após o término do ensaio.



Tabela 13: Número de pites em cada amostra após 30 dias de ensaio em névoa salina.

Aço/acabamento	Média dos pontos de corrosão
AISI 201 2B	122
AISI 304 2B	16
Aço/acabamento	Média dos pontos de corrosão
AISI 201 NR4	>400
AISI 304 NR4	19

Fonte: Adaptado de Aperam (2023)

Nesse estudo ainda, os autores mediram a composição química de diversos aços importados da China. Todos sendo vendidos no Brasil como AISI 201. Nenhum deles continha composição química compatível com a norma.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Essa revisão sistemática foi realizada com o objetivo de auxiliar os interessados na aplicação de aços inoxidáveis Cr-Mn na indústria alimentícia. Sendo assim, alguns resultados foram obtidos. Primeiramente em relação à utilização desses materiais em contato alimentar, a Tabela 14 apresenta quais aços dessa família podem ser utilizados nestes meios, segundo protocolos e legislações internacionais, baseados nos artigos apresentados nesta revisão. Esses aços apresentam liberação de metais abaixo dos níveis máximos permitidos.

Abaixo segue instruções que devem ser seguidas para a segura aplicação de aços inoxidáveis austeníticos Cr-Mn em projeto de equipamentos para indústria alimentícia. Essas instruções são baseadas nos estudos encontrados nesta revisão.



Tabela 14: Aços inoxidáveis Cr-Mn que podem ser aplicados em contato direto com produto alimentar, segundo estudos apresentados nesse artigo

Protocolo europeu (COE)	Protocolo italiano	ANVISA (Brasil)	NSF/ANSI 51 (EUA)
AISI 201	AISI 201	AISI 202	AISI 201*
AISI 202	AISI 202		AISI 202*
AISI 204	AISI 204		AISI 204*

***Aços com no mínimo 16% de Cromo**

Fonte: O autor, 2023

- Aços inoxidáveis Cr-Mn apresentam resistência mecânica superior aos aços inoxidáveis Cr-Ni. Dessa forma, os aços Cr-Mn são uma boa opção para usos estruturais onde não há contato alimentar. Sendo que devem ser escolhidos aços de baixo carbono como o AISI 201L, 202L ou 204L em conjuntos soldados. O baixo teor de carbono evita o fenômeno de sensitização na região soldada;
- Cuidados devem ser tomados com o agente de limpeza a ser utilizado nessas estruturas. Sanitizantes de PH básico e sem íons cloreto devem ser escolhidos;
- Aplicações em estruturas submetidas a ambientes quentes e com vapor devem ser evitadas. Não há evidências suficientes para indicar a substituição de aços Cr-Ni por aços Cr-Mn em trocadores de calor e vasos de pressão;
- Devido à grande quantidade de aços sem norma vendidos como normatizados no Brasil, indica-se a análise da composição química de cada lote de aço utilizado pelos fabricantes de equipamentos. Mesmo que o lote venha com o relatório da composição química emitida pelo fornecedor é válido fazer a conferência em um laboratório confiável;
- Aços inoxidáveis importados da Índia e da China devem ter composição química conferida antes da aplicação. Foram observados diversos relatos de aços sem normas distribuídos no Brasil, que provinham de fabricantes asiáticos;
- É provável que alguns dos aços sem norma que estão sendo comercializados nos tempos atuais recebam classificação de normas internacionais em breve. Tendo em vista, que já existem algumas aplicações e algumas composições químicas que apresentam utilizações específicas e aprovadas. Muitos fabricantes de materiais já



vendem esses aços com nomes comerciais, dizendo inclusive que os mesmos não apresentam classificação em normas. É importante observar que alguns desses aços já recebem aceitação em algumas indústrias, tendo seu uso aprovado. Porém esse fato não é válido na indústria alimentícia, onde seu uso deve ser restrito;

- Sucatas de aços inoxidáveis Cr-Mn sem norma devem ser separadas para que não haja contaminação com aços normatizados;
- Aços inoxidáveis Cr-Mn não devem ser aplicados em ambientes que contenham íons cloreto. Caso seu uso seja inevitável, o mesmo deve receber algum tratamento superficial que aumenta a resistência corrosiva;
- A conformação em geral propicia o surgimento de corrosão sob tensão. Segundo estudos apresentados, esse fato ocorreu principalmente em aços Cr-Mn sem norma devido a elevada quantidade de fósforo e enxofre;
- Em ambientes alimentícios devem ser escolhidas chapas polidas;

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo de revisão foi investigada a resistência à corrosão dos aços inoxidáveis Cr-Mn em ambientes encontrados na indústria alimentícia. A partir dos dados encontrados conclui-se que:

- Os aços inoxidáveis austeníticos Cr-Mn sem norma não apresentam bons resultados em ambientes corrosivos. Dessa forma seu uso não é indicado em equipamentos utilizados no ramo alimentício;
- A grande quantidade de impurezas como o fósforo e o enxofre, o baixo teor de cromo e níquel e a falta de estudos desses aços são fatores que limitam sua utilização;
- Aços normatizados como o AISI 201, AISI 202 e AISI 204 apresentaram boa resistência corrosiva e baixa liberação de metais em alguns ambientes corrosivos. Seu uso é adequado em alguns meios;

Mais estudos são necessários para confirmar a aplicações de aços inoxidáveis Cr-Mn nos diversos ambientes encontrados na indústria alimentícia. De fato, alguns aços



normatizados já apresentam boa aceitação para ambientes de média corrosividade. Porém o mesmo não pode ser dito para aços sem norma, onde poucos estudos foram encontrados.



REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Resolução RDC no 20, de 22 de março de 2007. **Utensílios, Tampas e Equipamentos Metálicos em Contato com Alimentos**". Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 mar. 2007. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/390501/ALIMENTOS%20BRESOLU%25C3%2587%25C3%2583O%2B%2BRDC%2BN%25C2%25BA.%2B20%252C%2BDE%2B22%2BDE%2BMAR%25C3%2587O%2BDE%2B2007..pdf/d04ac5a7-f1c9-4eb5-98c1-989cede53650>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA), 10 nov. 2014. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/duvidas-frequentes-materiais-em-contato-com-alimentos>>. Acesso em: 14 ago. 2023.

APERAM (Brasil); INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Comparativo Inox 304 x Inox 201: Ensaio de corrosão em água sanitária (Hipoclorito de sódio a 2,5%). In: **Cuidados com “Série 200” (1% Níquel)**. [S. l.], 14 ago. 2023. Disponível em: <https://inoxdeverdade.com.br/ensaio-de-corrosao-em-agua-sanitaria/>. Acesso em: 14 ago. 2023.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM A240/A240M-20**: Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and for General Applications. 2020. Disponível em: https://compass.astm.org/document/?contentCode=ASTM%7CA0240_A0240M-23%7Cen-US. Acesso em: 08/10/2023.

BALDAM, R. **Science Mapping (Bilbiometria) with R Studio, Bibliometrix and international indexes**. Portal Eletrônico UFES 2020. Disponível em: <https://prppg.ufes.br/conteudo/workshop-de-science-mapping-bibliometria-para-fins-cientificos>. Acesso em: 10/08/2023.

BANSOD, A. V.; PATIL, A. P.; MOON, A. P.; SHUKLA, Sourabh. Microstructural and Electrochemical Evaluation of Fusion Welded Low Nickel and 304 ASS at Different Heat Input. **Journal of Materials Engineering and Performance**, [s. l.], v. 26, ed. 12, p. 5847–5863, 15 nov. 2017. DOI 10.1007/s11665-017-3054-3. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11665-017-3054-3>. Acesso em: 25 ago. 2023.

BANSOD, A. V.; PATILB, A. P.; VERMAC, J.; SHUKLAB, S. Microstructure, Mechanical and Electrochemical Evaluation of Dissimilar low Ni SS and 304 SS using Different Filler Materials. **Materials Research**, [s. l.], v. 22, ed. 1, 2019. DOI <http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2017-0203>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/mr/a/HxWRPvT4Sfyy83sKzTtr9ph/?lang=en>. Acesso em: 25 ago. 2023.

BANSOD, A. V.; PATIL, A. P.; SHUKLA, S. Electrochemical evaluation of cr-mn austenitic stainless steel in aqueous sulphuric acid and influence of thiocyanate ions. **Anti-Corrosion Methods and Materials**, [s. l.], v. 67, ed. 3, p. 281-293, 17 abr. 2020. DOI <https://doi.org/10.1108/ACMM-11-2019-2210>. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/ACMM-11-2019-2210/full/html>. Acesso em: 25 ago. 2023.

CHARLES, Jacques. The new 200-series: An alternative answer to Ni surcharge? Dream or nightmare?. **Proc. of the Fifth Stainless Steel Science and Market Congress**, [s. l.], 2005. Disponível em: www.euro-inox.org 24.02.2010. Acesso em: 8 out. 2023.

CHU, K.H. *et al.* Chloride stress corrosion cracking of a non-standard, 'Borderline' Chromium-Manganese stainless steel – Problems of counterfeits and substandard materials. **Engineering Failure Analysis**, [s. l.], v. 127, 23 jun. 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105562>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350630721004234>. Acesso em: 14 ago. 2023.

CoE, 2013. Council of Europe, Metals and alloys used in food contact materials and articles, a practical guide for manufacturers and regulators, ISBN: 978-92-871-7703-2. European Directorate for the Quality of Medicines & HealthCare (EDQM).

DAI, Peiyuan *et al.* A new numerical model to predict welding-induced sensitization in SUS304 austenitic stainless steel joint. **Journal of materials research and technology**, [s. l.], v. 17, p. 234-243, 2022. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.01.015>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785422000151>. Acesso em: 14 set. 2023.

DALIPI, R.; BORGESE, L.; CASAROLI, A.; BONIARDI, M.; FITTSCHEN, U.; TSUJI, K.; DEPERO, L.E. Study of metal release from stainless steels in simulated food contact by means of total reflection X-ray fluorescence. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 173, p. 85-91, 2016. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.10.045>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877415300467>. Acesso em: 25 ago. 2023.

FAJARDO, S.; BASTIDAS, D.M.; CRIADO, M.; BASTIDAS, J.M. Electrochemical study on the corrosion behaviour of a new low-nickel stainless steel in carbonated alkaline solution in the presence of chlorides. **Electrochimica Acta**, [s. l.], v. 129, p. 160-170, 20 maio 2014. DOI <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2014.02.107>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013468614004216>. Acesso em: 27 ago. 2023.

FENG, Xingguo *et al.* Corrosion behavior of deformed low-nickel stainless steel in groundwater solution. **Engineering Failure Analysis**, [s. l.], v. 98, p. 49-57, 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.01.073>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350630718307386>. Acesso em: 25 ago. 2023.

GABER, G. A.; MOHAMED, L. Z.; JÄRVENPÄÄ, Antti; HAMADA, Atef. Enhancement of corrosion protection of AISI 201 austenitic stainless steel in acidic chloride solutions by Ce-doped TiO₂ coating. **Surface & Coatings Technology**, [s. l.], v. 423, 14 ago. 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2021.127618>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0257897221007921>. Acesso em: 14 ago. 2023.

GAO, Yuxin; ZHENG, Shaomei. Effect of plasma nitriding temperatures on characteristics of aisi 201 austenitic stainless steel. **Surface Review and Letters**, [s. l.], v. 23, ed. 1, 6 out. 2015. DOI 10.1142/S0218625X15500845. Disponível em: <https://www.worldscientific.com/doi/10.1142/S0218625X15500845>. Acesso em: 14 ago. 2023.

INDUSTRIAL SPECIALTIES MFG. & IS MED SPECIALTIES. **Food Safety Regulations and Food Contact Materials**. 17. ed. [s. l.], 2019. Disponível em: www.industrial-spec.com/images/files/food-contact-materials-fda-nsf-and-other-standards.pdf. Acesso em: 24 set. 2023.

ITÁLIA. [Constituição (21/09/1973)]. **Hygienic conditions of packaging, containers and articles intended to come into contact with foodstuffs or with substances of human use.**: Decreto ministeriale. [S. l.: s. n.], 1973. Disponível em: <https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC009972>. Acesso em: 4 out. 2023.

LIU, Guangming; LIU, Yuanyuan; CHENG, Yawen; LI, Jin; JIANG, Yiming. The Intergranular Corrosion Susceptibility of Metastable Austenitic Cr–Mn–Ni–N–Cu High-Strength Stainless Steel under Various Heat Treatments. **Materials**, [s. l.], v. 12, ed. 9, 2019. DOI 10.3390/ma12091385. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31035439/>. Acesso em: 25 ago. 2023.

LIU, Lele; ZHANG, Hao; BI, Hongyun; CHANG, E.; LI, Moucheng. Corrosion behavior of cold-rolled metastable CrMnNiN austenitic stainless steel in acidic NaCl solution. **Journal of materials research and technology**, [s. l.], v. 19, p. 278-288, 13 maio 2022. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.05.054>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785422007153>. Acesso em: 25 ago. 2023.

MAZINANIAN, N.; WALLINDER, I. O.; HEDBERG, Y. Comparison of the influence of citric acid and acetic acid as simulants for acidic food on the release of alloy constituents from stainless steel AISI 201. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 145, p. 51-63, 23 ago. 2014. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.08.006>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877414003367>. Acesso em: 14 ago. 2023.

MAZINANIAN, N.; HERTING, G.; WALLINDER, I. O.; HEDBERG, Y. Metal release and corrosion resistance of different stainless steel grades in simulated food contact. **Corrosion**, [s. l.], v. 72, p. 775–790, 2016. DOI <https://doi.org/10.5006/2057>. Disponível em: <https://meridian.allenpress.com/corrosion/article/72/6/775/199087/Metal-Release-and-Corrosion-Resistance-of>. Acesso em: 24 ago. 2023.

MOU, Liming *et al.* News Insights on Intergranular Corrosion Resistance Mechanism of Type 304 Austenitic Stainless Steel by Adjusting Carbon Contents. **Journal of Materials Research and Technology**, [s. l.], v. 26, p. 666-680, 2023. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.07.220>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785423017490>. Acesso em: 14 set. 2023.

NSF INTERNATIONAL. **Norma NSF/ANSI 51-1997**: Food Equipment Materials. 1997.

OSHIMA, Takayuki; HABARA, Yasuhiro; KURODA, Kotaro. Efforts to Save Nickel in Austenitic Stainless Steels. **ISIJ International**, [s. l.], v. 47, ed. 3, p. 359–364, 11 jan. 2007. DOI <https://doi.org/10.2355/isijinternational.47.359>. Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/isijinternational/47/3/47_3_359/_article. Acesso em: 14 ago. 2023.

RAO, V. S.; SINGHAL, L. K. Electrochemical and Surface Analytical Approach to Passive Film on 200 Series Stainless Steels Formed in Sulfuric Acid. **ISIJ International**, [s. l.], v. 49, ed. 12, p. 1902–1906, 2009. DOI <https://doi.org/10.2355/isijinternational.49.1902>. Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/isijinternational/49/12/49_12_1902/_article/-char/ja/. Acesso em: 25 ago. 2023.

RAO, V. S.; SINGHAL, L.K. Corrosion Behavior of Cr-Mn-Ni Stainless Steel in Acetic Acid Solution. **Corrosion Science**, [s. l.], v. 66, ed. 8, 1 ago. 2010. DOI <https://doi.org/10.5006/1.3479954>. Disponível em: <https://meridian.allenpress.com/corrosion/article-abstract/66/8/085004/162671/Corrosion-Behavior-of-Cr-Mn-Ni-Stainless-Steel-in?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 24 ago. 2023.

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO ORÇAMENTO E GESTÃO (Rio Grande do Sul). **Atlas socioeconômico do Rio Grande do Sul**: Metalurgia e Máquinas e Equipamentos. 4. ed. Porto Alegre: [s. n.], 2019. Atlas. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/metalurgia-e-maquinas-e-equipamentos>. Acesso em: 24 ago. 2023.



SECRETARIA DE PLANEJAMENTO ORÇAMENTO E GESTÃO (Rio Grande do Sul). **Atlas socioeconômico do Rio Grande do Sul: Produtos alimentícios e bebidas**. 4. ed. Porto Alegre: [s. n.], 2019. Atlas. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/produtos-alimenticios-e-de-bebidas>

TAIWADE , R. V.; PATRE , S. J.; PATIL, A. P. Studies on Welding and Sensitization of Chrome–Manganese Austenitic Stainless Steel. **Transactions of the Indian Institute of Metals**, [s. l.], v. 64, p. 513–518, 1 dez. 2011. DOI DOI 10.1007/s12666-011-0077-6. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12666-011-0077-6>. Acesso em: 25 ago. 2023.

TANG, Peng; LIU, Qian-nan; YANG, Xue-xuan. Comparative Study on Microstructure and Properties of the Cr–Mn–Ni Stainless Steel and the Cr–Ni Stainless Steel. **Physics of Metals and Metallography**, [s. l.], v. 123, ed. 14, p. 1557–1565., 19 out. 2022. DOI <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2017-0203>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/mr/a/HxWRPvT4Sfyy83sKzTtr9ph/?lang=en>. Acesso em: 14 ago. 2023.

VASHISHTHA, Himanshu; TAIWADE, R. V.; SHARMA, Sumitra. Effect of acetic acid on corrosion behavior of AISI 201, 304 and 430 stainless steels. **International Journal of Materials Research**, [s. l.], v. 108, ed. 5, p. 406-415, 2017. DOI <https://doi.org/10.3139/146.111493>. Disponível em: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.3139/146.111493/html>. Acesso em: 24 ago. 2023.