



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE REVESTIMENTO
PARA ISOLAMENTO FÍSICO – QUÍMICO SUSTENTÁVEL**

AUTOR: JOÃO ALTENIR LOPES

VOLTA REDONDA

2024



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS



**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE REVESTIMENTO PARA
ISOLAMENTO FÍSICO – QUÍMICO SUSTENTÁVEL**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais, sob a orientação do Prof. Dr. Bruno Chaboli Gambarato, na área de concentração de processamento e caracterização de materiais reciclados, compósitos, nanomateriais e biomateriais e linha de pesquisa em materiais compósitos.

Aluno: João Altenir Lopes

Orientador: Prof. Dr. Bruno Chaboli
Gambarato

VOLTA REDONDA

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Biblioteca: Alice Tação Wagner - CRB 7/RJ 4316

L864d Lopes, João Altenir

Desenvolvimento e caracterização de revestimento para isolamento físico-químico sustentável: tinta refratária com adição de vermiculita para aplicação siderúrgica, isolamento físico-químico. - Volta Redonda: UniFOA, 2024. 88 p. II.

Orientador (a): Prof. Dr. Bruno Chaboli Gambarato

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2024

1. Materiais - dissertação. 2. Vermiculita. 3. Tinta refratária. 4. Lança de injeção de oxigênio. 5. Aciaria LD. I. Gambarato, Bruno Chaboli. II. Centro Universitário de Volta Redonda. III. Título.

CDD – 620.1



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS



JOÃO ALTENIR LOPES

DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE REVESTIMENTO PARA ISOLAMENTO FÍSICO-
QUÍMICO SUSTENTÁVEL

Orientador: Prof. Dr. Bruno Chaboli Gambarato

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE
"MESTRE EM MATERIAIS"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE MESTRADO
PROFISSIONAL EM MATERIAIS

Roberto de Oliveira Magnago

Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Bruno Chaboli Gambarato

Prof. Dr. Bruno Chaboli Gambarato
Presidente / UniFOA

Janaina da Costa Pereira Torres de Oliveira

Prof.^a Dr.^a Janaina da Costa Pereira Torres de Oliveira
Examinador interno / UniFOA

Ingrid Meirelles Salvino Tomaszewski

Prof.^a Dr.^a Ingrid Meirelles Salvino Tomaszewski
Examinador externo / FATEC-SP

Junho de 2024.

 REQUESTED	TITLE	Folha de Aprovação de João Altenir Lopes
	FILE NAME	345_364_202544181844634738_560747.pdf
	REQUEST ID	signature_request_0908bf20-dad5-4e90-90c4-
	REQUESTED BY	ISABELA TEIXEIRA DOMINGOS
	STATUS	● Completed

Bruno Chaboli Gambarato (bruno.gambarato@foa.org.br)

	04/04/2025 21:38:32UTC±0		04/04/2025 21:43:50UTC±0 187.104.79.164
SENDED		SIGNED	

Janaina da Costa Pereira Torres de Oliveira (janaina.oliveira@foa.org.br)

	04/04/2025 21:43:50UTC±0		04/04/2025 22:17:00UTC±0 186.214.74.131
SENDED		SIGNED	

Ingrid Meirelles Salvino Tomaszewski (ingridmsalvino@gmail.com)

	10/04/2025 14:16:21UTC±0		10/04/2025 16:43:08UTC±0 138.99.75.144
SENDED		SIGNED	

Roberto de Oliveira Magnago (roberto.magnago@foa.org.br)



SENDED

10/04/2025
16:43:09UTC±0



SIGNED

10/04/2025
18:16:28UTC±0
186.214.103.193



COMPLETED

10/04/2025
18:16:28 UTC±0
O documento foi concluído.



Para obter e validar o documento em versão digital, faça a leitura do código ao lado ou utilize o link abaixo:

<https://unifoa.portalassinatura.abaris.com.br/sign/download/e9%2fQfYqMr0WGHeVS3S18aU%2fQ7oMBs%2f3z5BEAxTHLQorkYvt5KCzBFRyQbAGbnEuzefLHL1G96INOWvnJff0QH%2f1e5w300cOfm7KMR3fqOktFZ9DEcL40lz1UvcMA4Qtk>

DEDICATÓRIA

A Deus pela natureza, vida, saúde, força, apoio e esperança.

A minha esposa e filha, pela compreensão. Apoio, incentivo e dedicação nos períodos difíceis, incertezas e ausências dedicados ao desenvolvimento do trabalho.

AGRADECIMENTOS

À Deus por toda as dadas e presença constante em minha vida.

À minha esposa e filha, Cynthia e Cecília, que abdicaram em diversos momentos para que eu pudesse me dedicar a este objetivo.

Aos meus pais, João Baptista e Inice.

Ao Prof. Dr. Bruno Chaboli Gambarato pelo apoio e orientação durante o período de desenvolvimento dos trabalhos.

À Profa. Dra. Monique Conceição pela coorientação.

Ao Mestre Emilio Acciárito Filho pela ajuda e orientação.

Aos Eng. Valério Toledo de Oliveira, Eng. Danilo Antônio Silva, Téc. Marcio Henrique.

Ao Eng. Daniel Porto e Tec. Luís Fernando.

Aos professores do MEMAT, aos colegas de curso e aos colaboradores do Centro Universitário Osvaldo Aranha, FOA, por toda ajuda e disposição no período do curso e no desenvolvimento dos trabalhos.

A secretária Sra. Ana Maria Oliveira Carvalho por todo apoio durante o período do curso.

EPIGRAFE

A companheira ideal —²Amei a sabedoria e a busquei desde a minha juventude, e procurei tomá-la como esposa, pois fiquei enamorado de sua formosura. ³A união com Deus manifesta a nobre origem dela, porque o Senhor do universo amou-a. ⁴De fato, ela é iniciada na ciência de Deus e seleciona as obras dele. ⁵Se na vida a riqueza é um bem desejável, que riqueza é maior do que a sabedoria, que tudo produz? ⁶E se é a inteligência quem opera, quem mais do que ela é artífice do que existe? ⁷Se alguém ama a justiça, as virtudes são os seus frutos, pois é ela quem ensina a temperança e a prudência, a justiça e a fortaleza, que são na vida os bens mais úteis aos homens. ⁸Se alguém deseja também uma rica experiência, ela conhece as coisas passadas e entrevê as futuras, conhece a sutileza das máximas e a solução dos enigmas. Prevê sinais e prodígios, e o desenrolar das épocas e tempos. **⁹Decidi, portanto, tomá-la por companheira de minha vida, sabendo que ela será boa conselheira e me trará conforto nas preocupações e no sofrimento.** Bíblia Sagrada -Livro da Sabedoria- Sab. 8, 2-9.

LOPES, J. A. **Desenvolvimento e caracterização de revestimento para isolamento físico – químico sustentável**. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2024.

RESUMO

A produção de metais líquidos ferrosos (aço e ferro fundido) e não ferrosos (ligas de alumínio, cobre, zinco e outras), em seus respectivos processos; tem como condição inerente o contato direto e ou respingo (*Splash* - emulsão Gás-escória-metal), que em deposições subsequente e cumulativas, formão o cascão e em casos extremos, o cascão tipo crânio (*Skull Formation*), em seus diferentes recipientes e equipamentos, resultando em interferências (anomalias) operacionais, com efeitos negativos na segurança, produtividade e custo. O presente estudo propõe a execução de revestimento isolante ("*coathing*"), craquelável, quebradiço a alta temperatura, por meio físico – químico, utilizando como matéria prima produtos comerciais, coprodutos e rejeitos da produção de metal, que impeça, reduza ou facilite a remoção do cascão aderido. O desenvolvimento e determinação do composto mais adequado ocorreu através da experimentação; formulação do composto base, adição, remoção e variação das cargas, preparação de amostras para aplicação, aplicação em corpos de prova, teste reproduzindo as condições de trabalho, teste de aderência, resistência a alta temperatura e craquelamento. Após execução de vários compostos, utilização de vários materiais, formas de mistura, formas de aplicação, desenvolvimento de ferramentas e testes, chegou-se a um composto com características que atendem as solicitação de proteção, resistência térmica e sustentabilidade, com a utilização em várias proporções de escória de alto forno, óxido de Magnésio, pó de balão, finos de minério e carvão, além do desenvolvimento de uma nova aplicação para a Vermiculita; o composto desenvolvido mostrou-se técnica e economicamente viável.

Palavras-chave: Vermiculita; Tinta Refratária; *Coating*; Lança de injeção de oxigênio; Aciaria LD; *Slag Splashing*; *Skull Formation*; Sustentabilidade.

LOPES, J. A. **Desenvolvimento e caracterização de revestimento para isolamento físico – químico sustentável.** *Dissertation (Professional Master of Material) – Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2024.*

ABSTRACT

The production of ferrous (steel and cast iron) and non-ferrous (aluminum, copper, zinc and other alloys) liquid metals, in their respective processes, has as an inherent condition direct contact and/or splash (gas-slag-metal emulsion), which in subsequent and cumulative depositions, form the crust and, in extreme cases, the formation of skull, in their different containers and equipment, resulting in operational interferences (anomalies), with negative effects on safety, productivity and cost. The present study proposes the execution of an insulating coating (“coathing”), fissuring, brittle at high temperatures, by physical-chemical means, using as raw material commercial products, by-products and waste from metal production, which prevents, reduces or facilitates the removal of the adhered crust. The development and determination of the most suitable compound occurred through experimentation; formulation of the base compound, addition, removal and variation of loads, preparation of samples for application, application on test specimens, tests reproducing working conditions, adhesion tests, resistance to high temperatures and cracking. After the execution of several compounds, using different materials, mixing forms, application forms, development of tools and tests, a compound was arrived at with characteristics that meet the requests for protection, thermal resistance and sustainability, with the use in different proportions of blast furnace slag, magnesium oxide, balloon powder, ore fines and coal, in addition to the development of a new application for Vermiculite; the developed compound proved to be technically and economically viable.

Keywords: *Vermiculite; Refractory Paint; Coating; Oxygen injection lance; LD Steelworks; Slag Splashing; Skull Formation; Sustainability.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fases do processo Conversor LD.	25
Figura 2 - Princípio Básico do slag splashing.	27
Figura 3 - Ilustração da formação da emulsão e do crânio na lança.	29
Figura 4 – Cascão de lança, formação de crânio (Skull formation).	29
Figura 5 – Limpeza manual com lança de Oxigênio.	30
Figura 6 - Média de crânios de lança por mês.	30
Figura 7 - Pote de Escória - empresa da região.	52
Figura 8 – Formulação da decisão.	54
Figura 9 - Amostras 05 – 10 – Pintura.	57
Figura 10 - Secagem amostra em forno Mufla.	58
Figura 11 - Amostras Prontas - Secas.	58
Figura 12 - Teste de sopro de Ar direto na superfície pintada - Bico de Ar comprimido Pressão – 5 Bar.	59
Figura 13 – Foto Teste expansão da Vermiculita.	60
Figura 14 - Equipamentos para aplicação da tinta.	62
Figura 15 – Foto de aplicação da tinta.	63
Figura 16 – Fotos das Amostras 14, 16, 16II, 17 e 18.	63
Figura 17 – Foto teste de Viscosidade Copo Ford n° 4 - Amostra 1 - 14.	65
Figura 18 – Fotos teste de Viscosidade Copo Ford n° 4 – amostra 19 – 32.	66
Figura 19 – Fotos teste de armazenagem por longo período.	67
Figura 20 – Desenho do tubo de teste de imersão no Gusa Líquido.	68
Figura 21 – Fotos teste de Imersão no Gusa Líquido.	69

Figura 22 – Foto pintura manual Pote de Escória.....	71
Figura 23 – Foto posto de escorificação – Escumação.	71
Figura 24 – Foto escorificação de panela de ferro gusa – Escumação.....	72
Figura 25 – Fotos Retirada pote de escória para descarte.	72
Figura 26 – Fotos Segundo teste com Pote de Escória – pintura.	73
Figura 27 – Fotos Pote no posto de escorificação, esquimagem.....	73
Figura 28 – Foto transporte pote com escória. e descarte da escória.	74
Figura 29 – Foto limpeza do pote por basculamento, descarte da escória.	74
Figura 30 – Foto da remoção e descarte da escória.	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise Química Escória de aciaria.....	26
Tabela 2 - Especificações de diatomito calcinada para uso como carga industrial. .	35
Tabela 3 - Ensaio de Massa Bruta – Pó de MgO – Nodularizador.	36
Tabela 4 - Análises químicas das amostras de caulins (% em peso).....	37
Tabela 5 - Resultados Analíticos das Amostras de Escória.	38
Tabela 6 - Composição Química Vermiculita.	39
Tabela 7 - Características do produto AM 30SF - Brasil Minérios.	40
Tabela 8 - Composição Química - Concentração – ALUSIL AL 75.	41
Tabela 9 - Análise química das amostras de bentonita.....	42
Tabela 10 - Silicato de Sódio Neutro - Características físicas.....	44
Tabela 11 - Distribuição granulométrica Vermiculita, Escória granulada e MgO.	53
Tabela 12 – Formulação composto Base – Mistura de 1 à 10.	56
Tabela 13 - Estabilização do composto Base – Mistura de 11 à 18.	61
Tabela 14 – Tabela das Amostras de 19 à 32.	67

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.....	22
Equação 2.....	23

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AF	Alto Forno
ASTM	American Society for Testing and Materials
BOF	Basic Oxygen Furnace
cST	Centistokes
cP	Centipoise
DR	Redução direta
EAF	Forno Elétrico à Arco
LD	Converso a Oxigênio ou Processo Linz-Donawitz
MeMat	Mestrado Profissional em Materiais

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	19
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	19
1.2 OBJETIVOS	20
1.2.1 Objetivo geral	20
1.2.2 Objetivos específicos	20
1.3 JUSTIFICATIVA	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1 SIDERURGIA	23
2.1.1 Redução.....	23
2.1.2 Refino.....	24
2.1.3 Formação de Cascão e Crânio (<i>Skull Formation</i>).....	26
2.1.4 Escorificação Conversor e Potes De Escória	31
2.1.5 Desmoldantes Utilização	32
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
3.1 MATERIAIS	33
3.1.1 Materiais Utilizados Especificação	34
3.1.1.1 Diatomito	34
3.1.1.2 Óxido de Magnésio – MgO.....	35
3.1.1.3 Caulim	36
3.1.1.4 Acetato de polivinila (Cola Branca) – PVAC	37
3.1.1.5 Escória de Alto Forno a Carvão Vegetal.....	37
3.1.1.6 Vermiculita Expandida	38
3.1.1.7 Cimento Aluminoso 70%	40
3.1.1.8 Bentonita	41

3.1.1.9 Resina Alquídica	42
3.1.1.10 Silicato de Sódio Líquido – Na₂O (SiO₂) n.	43
3.2 Equipamentos	44
3.2.1 Laboratório de Processamento de Materiais do UniFOA:.....	44
3.2.1.1 Desenvolvimento das misturas:.....	45
3.2.1.2 Desenvolvimento teste e aplicação:	46
3.3 Métodos de trabalho.	48
3.3.1 Preparação e tratamento dos materiais.....	49
3.3.2 Aplicação	50
3.2.3 Teste	51
4 Formulação da Tinta (Coating).....	53
4.1 FLUXOGRAMA DO PROCESSO	54
4.2 EXECUÇÃO DAS TINTAS	55
4.2.1 Formulação do composta Base	55
4.2.2 Estabilização e variação do composto Base.....	61
4.2.3 Viscosidade das amostras	63
4.2.4 Variações das misturas e teste de campo.....	66
4.2.4.1 Primeiro Teste de campo.....	68
4.2.4.2 Segundo Teste de Campo	70
4.2.4.3 Terceiro Teste de Campo.....	72
5 CONCLUSÕES.....	76
6 TRABALHOS FUTUROS	77
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Aplicação emergente desse estudo e produto desenvolvido, recai no processo de produção do aço líquido (refino primário) mais utilizado atualmente, conhecido pela sigla LD (Linz e Donawitz), BOF (Basic Oxygen Furnace), ou convertedores LD.

A formação de cascão (agregado escória – metal solidificado) nas lanças de injeção de oxigênio ou gases inertes e sublança, bem como nas superfícies metálicas dos equipamentos de redução e refino, que fazem parte do processo de produção do aço e suas ligas; o *slag splash* (respingo de escória) proporciona em deposições subsequentes e cumulativas, aumento do diâmetro e peso das lanças e sublança, *Skull Formation* (formação de cascão tipo crânio), conseqüentemente aumenta as dificuldades operacionais como perda de produtividade, aumento do custo operacional e o aumento das intervenções (ACCIARITO, 2015). Algumas soluções que estão sendo utilizadas, como lanças cônicas ou *Slagless* (lança sem escória) e raspadores, não tem resolvido por completo a remoção do cascão aderido; dessa forma o “*coathing*” (revestimento) desenvolvido com o objetivo de minimizar estas ocorrências, não somente no processo de fabricação do aço, mas também em toda cadeia produtiva das ligas metálicas ferrosas e ligas metálicas não-ferrosas, além da sustentabilidade e economia circular com a utilização de subprodutos, coprodutos do processo produtivo é o que se apresenta.

Algumas empresas como a CSN e Ternium Brasil investiram em equipamentos para remoção de escória da lança, Raspador (RCL – MVL -01 - VULCANO) e algumas siderúrgicas investiram em lanças cônicas (*SLAGLESS LANCE* – LUMAR METAIS), investimentos altos, justificado com o aumento de produção em toneladas de aço líquido, aumento da disponibilidade do conversor, redução no consumo de lanças, maior disponibilidade e durabilidade, aumento da vida útil média por lança de 10, 12 para 200 corridas para troca por desgaste da lança e cabeça de sopro/ ponteira (SARDINHA, 2016).

Estas soluções foram bem-sucedidos para lanças de oxigênio, porém não eliminaram totalmente as ocorrências de cascão e ou as intervenções manuais

(ACCIARITO FILHO; BARBOSA, 2015); para sublanças não há relatos e ou informações sobre possíveis soluções, para outros equipamentos como os potes de escórias e painéis, há o desenvolvimento constante de *coathings* (revestimento) e equipamento de limpeza, o que justifica o desenvolvimento de soluções viáveis e ou complementares com ênfase na segurança, redução de custo e produtividade para estas situações.

Visando aumentar a eficiência dos equipamentos atualmente utilizados e reduzir ao máximo as paradas, as interrupções de produção pela formação de cascão nas lanças, sublanças, o aumento da vida útil e produtividade nos equipamentos de produção de ferro gusa e aço, independentemente do processo ou forma de fabricação, observou-se a oportunidade do desenvolvimento de um produto intermediário que complete a lacuna deixada pelas soluções atualmente aplicadas. Este trabalho focou no desenvolvimento de uma solução, material que trabalhe na interface, cascão metal base, facilitando a limpeza, remoção e ou que impeça a adesão da emulsão gás-metal-escória as superfícies metálicas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Sustentabilidade e economia circular, utilização de rejeitos, subprodutos, coprodutos e outros materiais provenientes do processo produtivos do ferro gusa, aço e outros, no desenvolvimento de *Coating* (Tinta, Desmoldante, Revestimento isolante), de baixa espessura de camada, craqueláveis (colapsável), quebradiço a alta temperatura, que impeça a aderência do Splash (Emulsão Gás-escória-metal) as superfícies metálicas, muito comum no processo Metalúrgico de produção do Ferro gusa, Ferro Fundido, Aço e na fabricação de diversas ligas.

1.2.2 Objetivos específicos

- Sustentabilidade e economia circular, utilização de coprodutos como o Pó de Magnésio, Escória e coprodutos provenientes do processo de produção do Aço e Ferro Fundido;

- Desenvolvimento de revestimento isolante para aplicação líquida, projetada por pistolas de pintura (*spray*), para proteção de superfícies metálicas que impeça e ou reduza a aderência de *splash* (respingo) de metal e escória líquida:
 - Aplicação como revestimento de proteção (*coating*) em diversos processos siderúrgicos, metalúrgicos e outras aplicações como proteção térmica.

1.3 JUSTIFICATIVA

No processo Metalúrgico/Siderúrgico são gerados diversos subprodutos, coprodutos com geração superior ao produto principal, para fabricação de uma tonelada de aço no Brasil, 60 % (sessenta) em média são resíduos, deste total a metade são escórias de Alto Forno e de Aciaria, que atualmente são utilizadas para a fabricação de cimentos, pavimentação de estradas, na construção civil, entre outras. Durante o processo produtivo do aço a escória é utilizada como proteção do revestimento refratário (saturada em MgO), isolante térmico e para a retenção de impurezas, podendo se tornar problema na ocorrência de acúmulo excessivo nos equipamentos de refino, remoção e manipulação, gerando grandes perdas no processo de produção. Devido as alta capacidade de produção das ligas metálicas e não metálicas, valor agregado, os custo de fabricação e beneficiamento destes produtos, as indústrias investem grandes quantias em soluções para mitigar, eliminar e ou reduzir as perdas, assim, todos os esforços para redução destas interferência, ganho de produtividade, aumento de vida dos equipamentos e redução de paradas, são justificados.

Com o objetivo de reduzir estas ocorrências, aumentar a eficiência dos equipamentos de produção e reduzir, minimizar ao máximo as paradas, interrupções de produção pela formação de cascão nas lanças e sublanças, nos equipamentos de produção e também em toda cadeia produtiva das ligas metálicas e ligas metálicas não-ferrosas, visando também a sustentabilidade com o aproveitamento, utilização dos subprodutos, e coprodutos no desenvolvimento de um revestimento

isolante a base de água, de fácil aplicação e remoção natural sem a necessidade de intervenção mecânica, podendo ser reaplicado em camadas subsequentes.

As tintas e revestimentos protetivos, devido as suas características, o interesse comercial, a retenção do know-how, tanto o processo de obtenção das matérias primas, teores, processo de fabricação, produtos e métodos produção são segredos industriais que não são divulgados; neste interim não foram encontradas publicações, materiais técnicos, dissertações, sobre o assunto; são poucas as patentes descrevendo produtos correlatos, os materiais encontrados mencionam áreas específicas de atuação e forma de aplicação, nos sites dos fabricantes as informações são mínimas e restritas as de domínio público.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SIDERURGIA

A Siderurgia se dedica à fabricação e beneficiamento do ferro e aço. O aço é produzido a partir do beneficiamento, do refino, da redução do teor de carbono do ferro gusa que tem como principais matérias primas o minério de ferro, carvão vegetal ou mineral (coque) e cal. A fabricação do aço em siderúrgicas integradas pode ser dividida em quatro etapas: preparação da carga, redução, refino e laminação (IAB, 2014).

1. Sinterização (preparação da carga): aglomeração dos finos de minério ferro, mais cal e finos de coque – para a produção do Sinter.

2. Redução: as matérias-primas preparadas, separadas em silos, peneiradas, classificadas quanto a granulometria, pesadas e dosadas, são carregadas no alto forno. Nos altos fornos ocorre o processo de redução do minério de ferro, transformando-o em ferro gusa líquido. O gusa é uma liga de ferro carbono e outros elementos com um teor de carbono elevado.

3. Transferência do metal líquido para o refino primário, Panela gusa e ou Carro Torpedo.

4. Refino: O refino do gusa líquido, carga sólida, fusão, remoção por oxidação do carbono e de impurezas, para transformar o gusa de alto teor de carbono em aço líquido é realizado nas aciarias a oxigênio ou elétricas.

5. Laminação: os laminadores, são conjuntos de cilindros ou rolos de laminação, de conformação mecânica do aço, em produtos semiacabados, lingotes e placas.

2.1.1 Redução

O Alto Forno é um reator químico, cilíndrico/cônico, com tamanhos variando conforme a matéria prima, o redutor e a capacidade de produção, reator metalúrgico utilizado na produção de ferro gusa, pelo processo de fusão redutora do minério de

ferro com o insuflamento de oxigênio, utilizando como redutor o carvão vegetal ou coque e fundentes (RIZZO, 2009).

Os Altos Fornos têm como principal produto o ferro gusa, a escória e gases provenientes da redução do ferro como subprodutos.

Durante a produção de aço, em torno de 2 a 4 toneladas de resíduos são geradas para cada tonelada de aço produzido (DAS *et al*, 2006). Em 2013 no Brasil o setor siderúrgico gerou cerca de 600 kg de resíduos, coprodutos por tonelada de aço bruto (IAB, 2014), para uma produção do aço de 32,5 milhões de toneladas (IAB, 2020), do setor siderúrgico a maior parcela de geração desses resíduos, coproduto, são de escória de alto forno, 37%, em torno de 200 a 300 kg de escória por tonelada de gusa, 7,5 milhões de toneladas por ano.

A escória de alto forno pode ser produzida de duas formas, determinado pela técnica de resfriamento, escória bruta, resfriamento ao ar, resfriamento lento, transportadas em potes metálicos para baias secas, e a escória granulada resfriamento rápido, choque térmico por jato de água (resfriada rapidamente). Após o resfriamento, no estado sólido, sua composição química se mantém inalterada, porém processo de resfriamento interfere diretamente nas propriedades físicas e reativa da escória (DINA, 2014).

A escória granulada é amplamente utilizada, de acordo com Freitas (2018), mais de 95% de sua composição contém: sílica, cálcio, alumínio, magnésio e oxigênio; alguns países, como Estados Unidos e Canadá, a escória de alto forno é classificada como coproduto da indústria siderúrgica (ÖZBAY; ERDEMİR; DURMUŞ, 2016). A escória granulada é amplamente utilizada na fabricação de cimentos, na construção civil como agregados, em tintas e compostos geopoliméricos.

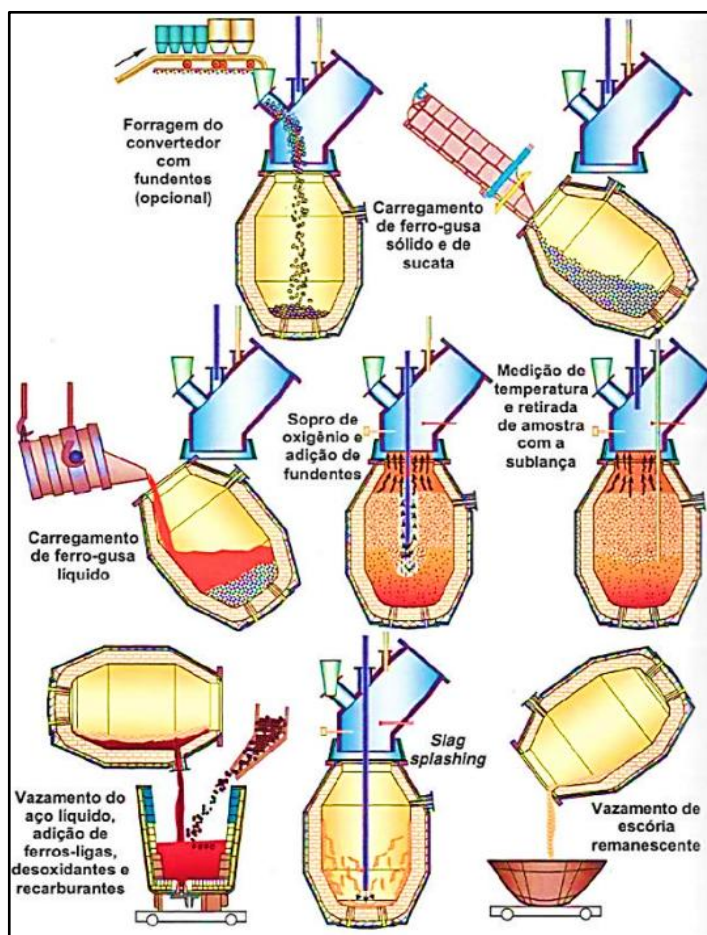
2.1.2 Refino

Atualmente mais de 80% do aço é refinado em Aciaria a oxigênio – Conversor LD (Linz-Donawitz), carga líquida, representado na Figura 3, o restante em Aciaria elétrica – Forno elétrico a arco – FEA (carga predominantemente sólida).

No processo de fabricação do aço, após a produção do ferro gusa, este produto intermediário é encaminhado para o refino primário (*Fire refining*), pelo processo BOF (*Basic Oxygen Furnace* (forno a oxigênio básico)). A composição química do gusa líquido varia conforme a necessidade e o produto de cada siderúrgica, o processo basicamente é a oxidação do carbono no intuito de reduzi-lo dos 4 a 6% do ferro gusa para abaixo de 1%, juntamente com a oxidação das impurezas como fósforo, enxofre e outras, que são descartados na forma de escória, e o carbono não incorporado ao ferro é eliminado na forma de gás, monóxido e dióxido de carbono (CO e CO₂).

Na Aciaria, ocorre a redução do teor de carbono e os teores dos outros elementos também, a temperatura do metal líquido se mantém entre 1580 e 1650°C, conforme as especificações de composição química e refino de cada aço (RIZZO, 2011; SILVA,2013).

Figura 1- Fases do processo Conversor LD.



Fonte: Rizzo, 2011; Silva, 2013, p. 45.

A produção em 2019 de aço bruto foi de 32,6 milhões de toneladas, sendo que 15% deste total ou cerca de 150 kg por tonelada de aço, foi de escória de aciaria (IAB, 2020; DELLA, 2005), cuja composição química varia conforme o processo de produção, representado na Tabela 1.

Tabela 1 – Análise Química Escória de aciaria.

Origem	Ferro total %	CaO %	SiO ₂ %	MgO %	MnO %	Al ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	Cr ppm	K ₂ O %	Na ₂ O %	Zn ppm	S %
FEA	26,5	29,7	12,5	3,4	4,9	4,3	0,5	13942	0,019	0,103	92	0,236
BOF	22,7	37,6	10	9,5	5	5	0,25	551	0,009	0,035	43	0,123

Fonte: Silva *et al.*, 2016.

No Brasil são produzidas em média 12,5 milhões de toneladas de escória por ano.

2.1.3 Formação de Cascão e Crânio (*Skull Formation*).

Existem muitos fatores que promovem a formação do cascão e crânio nas lanças de oxigênio e sublança. Muitas usinas siderúrgicas têm diferentes maneiras de produzir e pré-tratar o metal quente (principal componente da carga metálica no vaso), diferentes análises de metal quente (principalmente a faixa de teor de silício), adições de sucata e assim por diante, o que implica em instabilidades no processo BOF que podem gerar ou mesmo agravar a formação do crânio (SARDINHA, 2016).

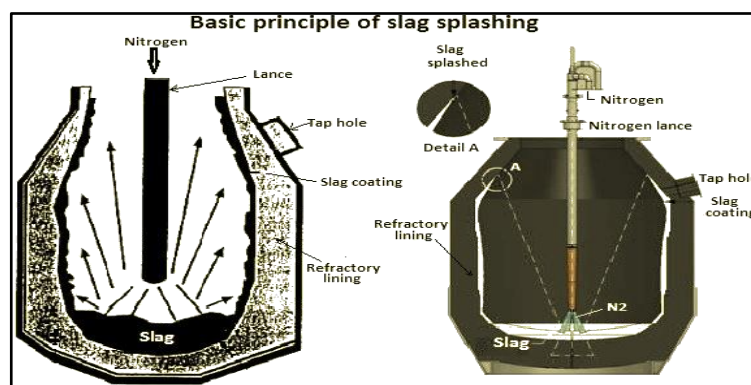
As usinas estão buscando constantemente o aumento na produtividade através do aumento da taxa de descarburização, conseqüentemente a redução do tempo de sopro. Para alcançar este objetivo é necessário a agitação do banho de metal líquido de modo a facilitar, aumentar a superfície de contato entre carbono e oxigênio dissolvidos. No caso de BOF o sopro combinado, proporciona a agitação do banho pelo borbulhamento de gás inerte pela base do convertedor. Esse processo evita oxidação excessiva, utilizando um menor volume de oxigênio, por conseguinte o aumento de produtividade.

Existe um limite determinado pelo aumento da taxa de projeção para o aumento da vazão de oxigênio, taxa de descarburização, visando o aumento de produtividade; o aumento da taxa de projeção, o qual provoca “*skulling*” (formação de crânio) na boca do reator, “*splashing*” (emulsão gás/metál/escória) excessivo, transbordamento e perda em rendimento metálico (GASPARINI, 2011, 2010), a formação de cascão e o desgaste excessivo das paredes refratárias do convertedor.

Portanto, os parâmetros operacionais como a vazão e pressão do oxigênio, vazão de gás inerte e a distância lança-banho, devem ser otimizados de modo a aumentar a taxa de descarburização, controlando a projeção, pois isto gera perda de produtividade, quebra de rotina, perdas de material e comprometimento da segurança (GASPARINI, 2011, 2010).

O *Slag Splashing* (respingos de escória), representado na Figura 4, é a técnica mais difundida, utilizada, atualmente na manutenção preventiva do refratário do forno. A tecnologia de respingo (*Splashing*) de escória consiste em espirrar a sobra de escória deixada no convertedor após o vazamento, enriquecida/tratada com a adição de óxido de magnésio (MgO), soprando gás nitrogênio sobre ela em direção à face quente do conversor utilizando lanças de sopro combinado e ou sublanças. Consiste em revestir a escória no revestimento do conversor congelando a escória líquida nas paredes do conversor. Os parâmetros de fornecimento de nitrogênio, ou seja, pressão e vazão, condição geral da escória e consistência da operação, são os três fatores principais para o sucesso do respingo de escória.

Figura 2 - Princípio Básico do *slag splashing*.



Fonte – Ispatguru - *Slag splashing technique in converter operation* - Satyendra, 2013.

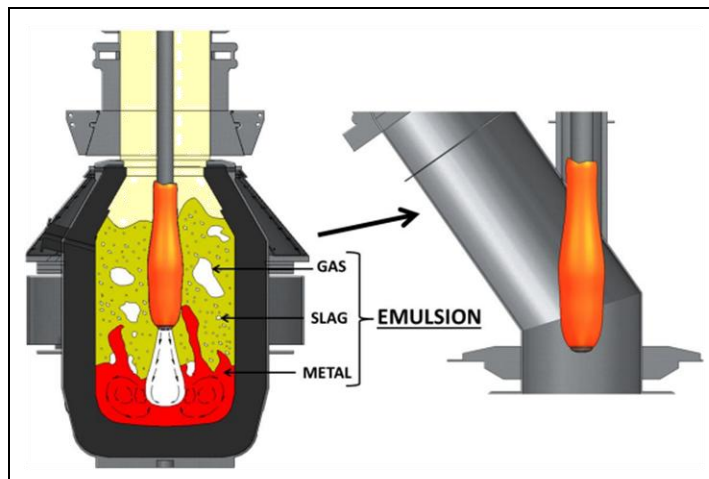
<https://www.ispatguru.com/slag-splashing-technique-in-converter-operation/>

A mistura de escória e aço aderida as superfícies dos equipamentos de transporte, manuseio e refino do aço, usualmente chamado de “Cascão”, sua maior ou menor incidência, volume, rigidez e aderência na superfície das lanças de injeção de oxigênio, de gases inertes e sublança, utilizadas nos processos de refino e “*slag splash*” (respingos de escória) respectivamente nos processos dos convertedores LD, está intrinsecamente ligada as condições do processo, em função de alguns aspectos como:

- Composição química do gusa líquido (variação do teor de silício);
- Adições de sucata e sua qualidade;
- Viscosidade da escória;
- Altura das lanças em relação ao banho;
- Pressão/vazão do gás injetado;
- Desgaste dos furos da “cabeça” das lanças entre outros.

O acúmulo subsequente deste material na superfície das lanças, causa a formação do cascão, aumenta o seu diâmetro e peso, em casos extremos a formação de crânio (*Skull formation*), representado nas Figuras 5, 6, 7 e 8. Com esta deposição de cascão, aumenta as dificuldades e os custos operacionais nas movimentações dessas lanças, na operação normal dos convertedores, de movimentação e limpeza manual das lanças, representado na Figura 7 (ACCIARITO, 2015).

Figura 3 - Ilustração da formação da emulsão e do crânio na lança.



Fonte: Sato *et al.*, 2017.

Figura 4 – Cascão de lança, formação de crânio (*Skull formation*).



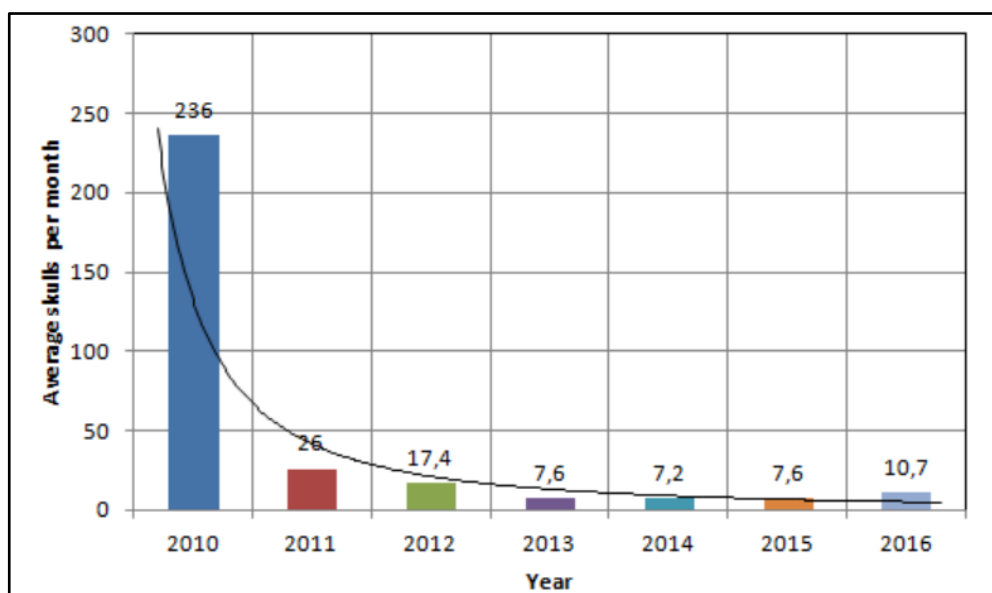
Fonte: Sato *et al.*, 2017.

Figura 5 – Limpeza manual com lança de Oxigênio.



Fonte: Sato *et al.*, 2017.

Figura 6 - Média de crânios de lança por mês.



Fonte: Almeida *et al.*, 2017.

A sublança é utilizada no controle de processo, lança auxiliar, disposta, montada sobre o conversor, excêntrica e paralela a lança de oxigênio para executar medições durante e após o sopro, o conversor na posição estacionária, 0° (zero grau), sem necessidade de basculamento do forno. As medições são realizadas por sensores específicos (amostradores), que executam basicamente estas funções:

- Medição de temperatura;
- Medição de oxigênio;
- Medição de carbono;
- Retirada de amostra.

Estas deposições de cascão de lança e sublança acarretam alta frequência de trocas destas lanças e a intervenção humana para limpeza das lanças e sublanças, com perda de produtividade, aumento do custo operacional e insegurança, pelas trocas frequentes, limpeza e remoção manual do cascão (ACCIARITO, 2015).

São várias as melhorias ao longo dos anos que culminaram em resultados considerados únicos na siderurgia mundial, como a implantação do sistema *Slagless Lance*, *Slag Coating*, *Slag Splashing*, Raspador de Lança, entre outros, aumentaram muito a vida útil dos equipamentos, refratário, lanças; atualmente o revestimento refratário pode chegar à 10.000 corridas e as lanças 200 corridas, porém até o momento nenhuma destas ações elimina por completo a formação de cascão nas lanças.

2.1.4 Escorificação Conversor e Potes De Escória

No processo de refino, de fabricação do aço líquido, toda escória gerada em cada etapa do processo é coletada e descartada. Na Aciaria a Oxigênio, o maior volume de escória gerado ocorre no Convertedor LD e na Dessulfuração na Panela, processo KR (Kambala Reactor). Estas escórias são removidas nas painéis de movimentação e transporte do metal líquido, entre as etapas de refino, por sistema de raspagem, *slag skimmer* ou pá de *skimmer* (removedor de escória – escumador), que retira o material sobrenadante, para os potes de escória, painéis metálicos de transporte da escória líquida. O processo de remoção da escória por raspagem, carrega juntamente com a escória, metal líquido; este metal, mesmo em pouca quantidade, em contato com os potes de escória provoca seu desgaste prematuro, a redução de sua vida útil. No intuito de aumentar a vida útil, protegendo as paredes metálicas do pote, e facilitar a remoção da escória em seu descarte, no basculamento, utiliza-se a projeção, na superfície interna e borda do pote, de tinta refratária,

revestimento (*coating*), à base de sílica e outros elementos que têm a função de impedir a aderência de escória e metal líquido, evitando desta forma o desgaste. Auxiliando também na limpeza e remoção do cascão, devido as características colapsáveis, se desprende da parede, facilitando a remoção da escória.

2.1.5 Desmoldantes Utilização

Entre tantas aplicações possíveis para os diversos desmoldantes, revestimento (*coating*) existentes, que na maioria estão sobre segredo de patentes e mesmo segredo de fabricação, que não são divulgados em estudos técnicos, sites técnico e ou nos anuários de siderurgia. Na Metalurgia os desmoldantes, revestimentos (*coating*), são largamente utilizados para a fabricação do ferro gusa (lingotes), nas lingoteiras inclinadas ou circulares, no refino do aço (potes de escória), na forjaria, na fundição de peças em ferro fundido (FoFo), aço e outros ligas, para evitar a aderência do metal a sua forma, que podem ser metálicas, de areia e outras. O revestimento desmoldantes, tinta (*coating*) forma um filme isolante entre as cavidades do molde e o metal em estado líquido, para facilitar a desmoldagem, reduzir a desgaste do molde impedir a aderência entre as partes, o filme desmoldante possui características quebradiça, degrada na aplicação de esforço cisalhante, no resfriamento o produto transforma-se em pó e se desprende da parede do molde, facilitando a remoção do material, nos seguintes equipamentos:

- Pote de escória - Conversor LD – Panela Dessulfuração KR;
- Lança de oxigênio - Conversor LD;
- Sublança - Conversor LD;
- Escorificador de panela - esquimagem de escória;
- Lingoteiras;
- Caixas metálicas de Fundição;
- Paredes de equipamentos contra o *Splash* (respingo) de metal e escória.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

No desenvolvimento deste trabalho, foram utilizados alguns coprodutos gerados na produção de tubos e conexões de ferro fundido nodular em empresa da região Sul Fluminense, como a Escória granulada de alto forno e o pó de Magnésio gerado no processo de nodularização por meio da técnica de imersão de sino, basicamente, a nodularização consiste na adição de elementos químicos que promovem a formação de nódulos grafiticos.

Na formulação da Tinta (*Coating*), foram testados os seguintes materiais:

- O diatomito (DIATOMÁCEAS), elemento catalizador, aumenta a resistência, reforça a adesão, alto ponto de fusão entre 1400 °C e 1650 °C.
- Pó de Mg (Magnésio) – Agente emulsificantes (ou surfactantes), desmoldante, resistência a altas temperaturas;
- Escória de Alto Forno – Agregado e pigmento para a tinta, fonte Sílica, Cálcio e Alumina;
- Vermiculita - Silicato hidratado de magnésio, alumínio e ferro, utilizado como isolante térmico e termo expansível, ponto de fusão superior a 1300°C;
- Cimento Aluminoso 70% - Óxido a base de Alumina, Espinélio e Silicato de Alumínio;
- Caulim – Silicatos hidratados de alumínio, resistência mecânica e ponto de fusão de 1800°C;
- Bentonita – Aglomerante - função de promover a aglutinação da areia de quartzo, conferindo as propriedades físicas (porosidade, refratariedade etc.);

- Resina Alquídica – Utilizada em tintas que secam por oxidação ou polimerização por calor;
- Acetato de polivinila (Cola Branca) – Muito utilizada em tintas devida a sua adesividade, tintas de parede PVA, tipo látex;
- Silicato de Sódio Líquido – vidro líquido, utilizado como aglomerante de pós em geral.

3.1.1 Materiais Utilizados Especificação

Todos os materiais utilizados foram doados por empresas metalúrgicas e de insumos para siderurgia.

3.1.1.1 Diatomito

De acordo com CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Serviço Geológico da Brasil) o Diatomito ou terra de diatomáceas, é uma rocha sedimentar biogênica que se forma pela deposição dos restos microscópicos das carapaças de algas diatomáceas em mares, lagoas e pântanos.

As diatomáceas mais comuns são: eunotia, frustulia, pinnularia, navicula, nitzschia, anomoeis, melosira, epithemia, cymbella e fragilaria.

O diatomito é muito poroso, leve, absorvente e fino, além de pulverulento, quebradiço, insípido, inodoro, terroso e tem ponto de fusão que fica entre 1400 °C e 1650 °C. Absorver quatro vezes seu peso em água. Suas partículas têm alta dureza, porém a rocha diatomito tem dureza baixa, devido a porosidade, tem baixa condutividade térmica, é estável, inerte quimicamente a muitos líquidos e gases.

Sua cor varia conforme a pureza. Na cor branca para o material puro, variando sua cor conforme os materiais orgânicos, as impurezas presentes no material, podendo ser creme, cinza ou marrom. Quando as espículas de esponjas predominam, constitui um esponjilito.

Tabela 2 – Tabela Especificações de diatomito calcinado.

Propriedade	Análise típica	Variação
Coloração	branca	branca
Alvura ISO (%)	88,3	
Umidade (%)	1,0	Máxima
SiO ₂ (%)	93	±3,0
Al ₂ O ₃ (%)	3,0	±1,0
Fe ₂ O ₃ (%)	0,5	Máxima
CaO (%)	0,5	Máxima
MgO (%)	0,3	±0,1
TiO ₂ (%)	0,2	±0,1
Na ₂ O (%)	0,2	Máxima
K ₂ O (%)	0,2	Máxima
Perda ao fogo (%)	2,5	Máxima
Densidade aparente livre (g/cm ³)	0,22	±0,03
Granulometria - retido em 325 # (%)	1,0	Máxima

Fonte: França, 2008.

3.1.1.2 Óxido de Magnésio – MgO

O MgO, estearato de magnésio, é um aditivo versátil, de bom custo e larga aplicação na indústria química, de refratário (siderurgia), de tintas, farmacêutica entre outras.

O óxido de magnésio tem ponto de fusão superior a 2800 °C, muito utilizado em aplicação que exijam a resistência a altas temperaturas (refratários, argamassas, concretos, tintas).

O aditivo estearato de magnésio possui característica insolúvel, antiaderente, antiestético, bloqueador dos raios UV, muito versátil, é utilizado principalmente por sua resistência a altas temperaturas, é um aditivo que preserva as características do material.

Os principais retardantes de chama utilizados nas tintas em pó são os compostos inorgânicos que são inseridos na tinta na forma de aditivo, tais como: os

hidróxidos de alumínio ou alumina trihidratada (THA) - $\text{Al}(\text{OH})_3$, trióxido de antimônio - Sb_2O_3 e o hidróxido de magnésio - $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (RABELLO, 2011; NUNES, 2010).

Tabela 3 – Tabela Ensaio de Massa Bruta – Pó de MgO .

Parâmetros	Unid.	Resultado	ABNT (NBR 10004:2004)
Alumínio	mg/kg	110	
Arsênio	mg/kg	<0,15	1000
Cádmio	mg/kg	<0,50	
Cálcio	mg/kg	72	-
Chumbo	mg/kg	11	1100
Cobre	mg/kg	16	-
Cromo Total	mg/kg	<1,5	.
Ferro	mg/kg	70	-
Magnésio	mg/kg	599600	-
Manganês	mg/kg	110	-
Mercúrio	mg/kg	<0,005	100
Níquel	mg/kg	5	-
Selênio	mg/kg	<0,30	100
Silício	mg/kg	<500	
Sódio	mg/kg	<0,03	-
Zinco	mg/kg	20	
Umidade	%	<1,0	

Fonte: S.G.C., 2020.

3.1.1.3 Caulim

Caulim é uma rocha de cor branca, muito utilizado em cerâmica, papel, tintas, borracha, cimento, agricultura, refratário, é composto principalmente por silicato hidratado de alumina (óxido de alumínio (Al_2O_3)). O caulim tem ponto de fusão superior a 1600 °C, tem baixa resistência mecânica, porém alta refratariedade, misturado com outros elementos com o sílica, tem ampla utilização como refratário em fornos. Para o revestimento de fornos, normalmente utiliza-se uma mistura de 50% de caulim e 50% de sílica (MORAES, 2006).

Tabela 4 – Tabela Análises químicas das amostras de caulins (% em peso).

Amostras	1	2	3	4	Média
SiO ₂	45,00%	44,10%	44,50%	44,00%	44,40%
Al ₂ O ₃	37,80%	35,20%	36,00%	37,80%	36,70%
CaO	0,01%	<0,01	<0,01	0,01%	0,01%
Fe ₂ O ₃	1,30%	3,30%	2,90%	1,60%	2,28%
FeO	0,25%	0,14%	0,14%	0,18%	0,18%
Fe Total	1,55%	3,44%	3,04%	1,78%	2,45%
TiO ₂	0,49%	1,80%	0,94%	0,98%	1,05%
MnO	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
MgO	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Perda ao fogo	13,85%	13,74%	14,05%	14,40%	14,01%
Total	99,10	98,28	98,53	98,97	98,72

Fonte: Bertolino *et al.* (2012).

3.1.1.4 Acetato de polivinila (Cola Branca) – PVAC

O acetato de polivinila é um polímero amorfo, não cristalino.

O PVAC tem ampla utilização na indústria em tintas, papéis, adesivos, materiais de construção, tecidos entre outras aplicações

Em Tintas o uso de PVAC e de seus copolímeros na indústria de tintas é tão estabelecido quanto o uso na indústria de adesivos.

- Fórmula molecular - $(C_4H_6O_2)_n$
- Massa molar - 86,09 g/mol

3.1.1.5 Escória de Alto Forno a Carvão Vegetal

No vazamento dos altos fornos a escória é separada por densidade, onde o Ferro líquido, mais pesado segue na direção das panelas e ou carro torpedo e a escória, sobrenadante, segue no sentido oposto, dos potes de escória, baias ou para granulação. Líquido viscoso com temperatura entre 1350°C e 1500°C, seguindo para os potes e baia, tem resfriamento lento, cristalização lenta ao ar, se tornando blocos

rígidos, vitrificados; quando a escória é granulada, resfriamento rápido, por choque térmico, esta expande rapidamente incorporando ar a sua estrutura, mudando do estado fluido cristalino, com a expansão rápida pela mudança brusca de temperatura, para esponjoso, frágil e quebradiço, sendo transportada pela água, durante o transporte, pelo atrito, impactos e quedas se transforma em areia, particulado fino. Na condição cristalina a escória não possui capacidade aglomerante, porém se granulada, produz-se um material predominantemente vítreo. A escória vítrea apresenta nível de energia mais elevado do que a cristalina, sendo, portanto, termodinamicamente menos estável que as cristalinas, sendo muito utilizadas na fabricação de cimento e concreto; composição química de escoria de Alto Forno a carvão vegetal, representada da Tabela 5.

Tabela 5 – Tabela Resultados Analíticos das Amostras de Escória de Alto forno.

Parâmetro	Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03	Amostra 04	Amostra 05	Média 01-05
	%	%	%	%	%	%
Óxido de Cálcio (CaO)	34,40	28,90	33,80	31,60	35,00	32,74
Óxido de Magnésio (MgO)	5,46	4,89	5,31	5,65	5,60	5,38
Trióxido de Alumínio (Al ₂ O ₃)	13,00	16,20	14,10	11,60	12,40	13,46
Dióxido de Silício (SiO ₂)	40,60	40,90	39,10	37,60	37,00	39,04
Anidrido Carbônico (CO ₃)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,00
Anidrido Sulfúrico (SO ₃)	0,56	0,27	0,40	0,45	0,38	0,41

Fonte: Relatório Ambiental, 2021.

3.1.1.6 Vermiculita Expandida

Conforme DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral), Reframil e Brasil Minérios fornecedores de Vermiculita Expandida. A Vermiculita é um mineral formado por lamínulas superpostas, inorgânico, insolúvel em bases e ácidos fracos e ou solventes orgânicos, pH neutro, ponto de fusão superior a 1300°C, que quando

exposto a temperaturas superiores a 800 °C expande em até 30 vezes seu tamanho original, podendo ser fornecida como Vermiculita *in natura* e ou expandida.

Principais Características:

- Baixa Condutividade Térmica e Acústica – podendo ser utilizadas como aditivos em massas e refratários para revestimento acústico e térmico.
- Densidade aparente ser de 80 - 120 kg/m³.
- Atóxico - silicato mineral inerte.
- Não abrasiva.
- Retenção de Água - pode e chegar até 5 vezes a capacidade de cada floco.

Os argilominerais, possuem grande oferta e baixo custo, devido as suas características são utilizados como adsorventes de diversas soluções.

A vermiculita, que é um mineral pertencente ao grupo dos filossilicatos argilosos, com baixa dureza, e densidade variando entre 800 e 1000 kg m⁻³ (TEODORO; PARABOCZ; ROCHA, 2020).

Vermiculita Expandida utilizada, AM 30SF Brasil Minérios, composição química representada na Tabela 6 e 7. Análise realizada por Espectrometria de Fluorescência de Raios X.

Tabela 6 – Tabela Composição Química Vermiculita.

Compostos	%
SiO ₂	30,00 - 45,00
Al ₂ O ₃	5,00 - 15,00
Fe ₂ O ₃	5,00 - 16,00
TiO ₂	Máx. 2,0
CaO	0,0-1,50
MgO	15,00-30,00
Na ₂ O	0,0-1,50
K ₂ O	0,0-0,40
Perda ao fogo	Max. 10%

Fonte – Brasil Minérios, 2023.

Tabela 7 - Características do produto AM 30SF - Brasil Minérios.

Parâmetro	Especificação		
Massa Específica Aparente	De 650 a 950 (kg/m ³)		
Umidade	Máximo 1%		
Teor	Min. 85%		
Distribuição Granulométrica. (via seca)	Peneiras (mm)	(%) Retido	
		Simples	Acumulado
	4	0 a 0	0 a 0
	2	0 a 0	0 a 0
	1	5 a 35	5 a 35
	0,5	45 a 90	50 a 100
	0,3	1 a 10	90 a 100
< 0,30	0 a 5	95 a 100	

Fonte - Brasil Minérios, 2023.

3.1.1.7 Cimento Aluminoso 70%

Segundo a Associação Brasileira de Cerâmica (2011), os cimentos aluminosos podem ser definidos como ligantes hidráulicos, cujo componente principal é o aluminato de cálcio, com teores de óxido de alumínio na faixa de 40% a 80%; cimento de aluminato de cálcio ou cimento aluminoso (ENGIOBRA, 2016).

O cimento aluminoso possui grande resistência mecânica (abrasão e impacto), disponibilidade, baixo custo, e resistência ao ataque químico (ANDRADE *et al*, 2014).

O Cimento utilizado na produção da tinta foi o cimento Aluminoso - Alusil AL 75, 75% de alumina (Al₂O₃), Fabricante Alusil Refratários – Produto Cimento, conforme Tabela 8.

Tabela 8 – Tabela Composição Química - Concentração – ALUSIL AL 75.

Composto	%
SiO ₂	10,37
Al ₂ O ₃	75,41
CaO	1,03
Na ₂ O	2,47
K ₂ O	0,77
Fe ₂ O ₃	1,39
MgO	6,93
TiO ₂	0,52
MnO	0,23
Cr ₂ O ₃	0,06
CuO	0,15
ZnO	0,08
ZrO ₂	0,04
NiO	0,08
SO ₃	0,28
P ₂ O ₅	0,10
V ₂ O ₅	0,06
SrO	0,04

Fonte: Alusil Refratários, 2018.

3.1.1.8 Bentonita

Bentonita é um mineral, uma argila do grupo das esmectitas, que possuem como principal característica o alto poder de inchamento, até 20 vezes seu volume inicial, suas principais aplicações são como aglomerantes em areias de fundição, na pelotização de minério de ferro, na perfuração de poços de petróleo, para captação de água, indústria química e farmacêutica, e clarificantes. A bentonita tem sido ainda empregada em catálise, na remoção de poluentes de água, e em cosméticos (PORTO, 2002), composição típica representada na Tabela 9.

Tabela 9 - Análise química das amostras de bentonita.

ÓXIDOS	CLARA - CN
Al ₂ O ₃	16,10%
BaO	0,02%
CaO	0,94%
Cr ₂ O ₃	0,02%
Fe ₂ O ₃	5,07%
K ₂ O	0,31%
MgO	2,50%
MnO	0,02%
Na ₂ O	0,28%
P ₂ O ₅	0,03%
SiO ₂	65,60%
SrO	0,00%
TiO ₂	0,68%
PERDA AO FOGO	7,63%
Total	99,20%

Fonte: Tonnesen *et al*, 2012.

* **Clara CN** - Depósito bentonita - Campos Novos, em Cubati em Pedra Lavrada – PB.

3.1.1.9 Resina Alquídica

As resinas alquídicas, dentre os diversos tipos de resinas utilizados na área de tintas, detêm até os dias de hoje a maior parcela do mercado mundial para tintas não aquosas. São geralmente caracterizadas pelas excelentes propriedades de molhabilidade e adesão, brilho, secagem, nivelamento e excelente compatibilidade com muitos outros tipos de resinas. São classificadas como poliésteres modificados com óleo ou ácido graxo. Devido a sua versatilidade, podem ser desenvolvidas uma ampla gama de propriedades e aplicações, desde acabamentos duros, de alto brilho, secagem rápida com retenção de cor (alquídicas curtas) a acabamentos mais flexíveis, macios, de secagem lenta com menor brilho (alquídicas longas). Estas propriedades dependem dos intermediários utilizados na preparação das resinas e, principalmente, da proporção das matérias-primas (HARTMANN, 2011).

3.1.1.10 Silicato de Sódio Líquido – Na₂O (SiO₂) n.

O Silicato de Sódio ou vidro Líquido, é uma solução aquosa constituído por SiO₂ (dióxido de silício) e Na₂O (óxido de sódio), sua especificação e característica representado na tabela 10; a relação entre os dois óxidos pode variar juntamente com o teor de sólidos da solução para obter características diferentes e atender a necessidade de cada aplicação e seguimento mercadológico. De fácil manipulação, atóxico e não inflamável, é um produto com vasto campo de aplicação. Na indústria do cimento por exemplo é utilizado como redutor de umidade; como ativador de cimento; como acelerador de pega de concreto; como aditivo protetor em compósitos de fibras vegetais e cimento e como proteção superficial do concreto. Teoricamente, nos cimentos Portland (CaO.Ai₂O₃) ou cimento aluminoso, utilizado com impermeabilizante superficial, o silicato penetra preenchendo os poros superficiais do concreto. De acordo com Thompson *et al*, a reação representada na Equação 1, apresenta o que acontece quando a solução de silicato de sódio penetra nos poros do concreto (THOMPSON *et al.*,1997).



Utilização:

- Fabricação de sabão e detergentes;
- Refratários e argamassas refratárias;
- Defloculantes no processo de purificação de minérios;
- Aglomerante para processos de briquetagem, granulação e pelletização;
- Aglomerante na fabricação de moldes e machos em fundição;
- Fabricação de pigmentos;
- Fabricação de aditivos para cimentos e impermeabilizantes;

Tabela 10 - Silicato de Sódio Neutro - Características físicas

Itens	TR-NS01	TR-NS01	TR-NS01	TR-NS01
Na ₂ O%	7,5	8,2	10,2	12,8
SiO ₂ %	25,00	26,00	25,70	29,20
Módulos (M)	3,41-3,6	3,1-3,4	2,6-2,9	2,2-2,5
Insolúvel em água, % ≤	0,1-0,4	0,1-0,4	0,2-0,6	0,2-0,8
Densidade g/ml	1,336- 1,362	1,368- 1,394	1,436- 1,465	1,526- 1,559
Ferro, % ≤	0,05	0,05	0,05	0,05

Fonte: TRUNANO, 2023.

3.2 EQUIPAMENTOS

3.2.1 Laboratório de Processamento de Materiais do UniFOA:

- I. Agitador eletromagnético de peneiras BERTEL (<https://www.berTEL.com.br/agitador-eletromagnetico>).
 - Capacidade para 6 peneiras de 2 polegadas de altura, mais a tampa e o fundo;
 - Podem ser utilizadas peneiras com diâmetro de 3", 5" ou 8";
 - Reostato para controle das vibrações, eletromagnético;
 - Peneira granulométrica 8x2" latão – *Mesh* (malha) 09 (2,0mm); 16 (1,0mm); 24 (0,71mm); 32 (0,5mm); 35 (0,425 mm).
- II. Balança de precisão MARCONI AS 5500C.
 - Balança eletrônica com capacidade de 5000g, precisão de 0,1g, com microprocessador, tara subtrativa em toda a escala.
- III. Moinho de bolas (esferas) - PULVERISETTE 5/2 classic line - *Fritsch GmbH - Milling and Sizing – Germany*. (<https://www.fritsch-international.com/sample-preparation/milling/planetary-mills/details/product/pulverisette-52-classic-line/>)
 - Esferas de 15 mm.

- IV. Forno Mufla Microprocessado - Q318M25T – Marca QUIMIS (<https://www.quimis.com.br/produtos/detalhes/forno-mufla-microprocessado>).
- Faixa inicial de trabalho em 300°C;
 - Temperatura máxima de trabalho: 1200°C
- V. Estufa Microprocessada de Secagem - Q317M - Marca QUIMIS (<https://www.quimis.com.br/produtos/detalhes/estufa-de-secagem>).
- Timer de 1 a 999 min;
 - Botão para reset timer;
 - Temperatura máxima de 200°C;
 - Esse modelo possui uma porta;
 - Homogeneidade na câmara: $\pm 5^{\circ}\text{C}$ em um ponto;
 - Precisão do sensor tipo J;
- VI. Compressor de ar – Laboratório de carpintaria UniFOA.
- Compressor de Ar, 100 Litros, 2 HP, 9,65 bar (140 PSI) - SCHULZ-PROCSV10/100.

3.2.1.1 Desenvolvimento das misturas:

I. Balança Digital, SF-400.

Para verificação, comparação da aferição, erro inerente a balança comercial e a balança de precisão do laboratório UniFOA, foram executadas 5 (cinco) pesagens dos materiais utilizados na composição da tinta com resultado, diferença de pesagem de 0,11 %, cerca de um grama por quilograma, o que não influencia, não influenciou no processo de formulação da tinta e ou na qualidade final do material. Tornando a balança apta para a execução do trabalho.

- Balança eletrônica com capacidade de 10.000g, precisão de 1,0g.

II. Liquidificador Philips Walita Daily RI2110.

Para a execução de misturas homogêneas dos materiais da tinta.

- 2 Velocidades e pulsar;
- Potência - 550W.

III. Pistola Pintura Gravidade - Manual.

Para aplicação da tinta por spray.

- Dimensões: 17 x 19 x 11 cm;
- Tipo: Gravidade;
- Capacidade do Tanque: 600 ml;
- Entrada de Ar: $\varnothing 1/4$ " NPT;
- Pressão Máxima de Trabalho: 3 - 4 bar (30 a 50 Libras);
- Bico/agulha: $\varnothing 1.8$ mm.

3.2.1.2 Desenvolvimento teste e aplicação:

I. Viscosímetro - COPO FORD 4.

- Aparelho utilizado nas determinações rápidas e genéricas da viscosidade cinemática;
- Normas ASTM (D1200:2014), ABNT (NBR 5849:1986).
- Aplicação - tintas, vernizes, resinas, cremes etc.
- Corpo de alumínio, orifício de escoamento em latão, tripé de apoio em alumínio com regulagem de nível.

II. Estufa Microprocessada de Secagem - Q317M - Marca QUIMIS (<https://www.quimis.com.br/produtos/detalhes/estufa-de-secagem>).

- Timer de 1 a 999 min;
- Botão para reset timer;

- Temperatura máxima de 200°C;
 - Esse modelo possui uma porta;
 - Homogeneidade na câmara: $\pm 5^{\circ}\text{C}$ em um ponto;
 - Precisão do sensor tipo J;
- III. Agitador de Peneiras (<https://cial-paulinia.com.br/produto/agitador-de-peneiras/>)
- Modelo T
 - Fabricante – Produtest;
 - Peneiras – 10 peneiras de $\varnothing 8''$ por altura 2”.
- IV. Analisador de Fluorescência de Raios-X, Figura 10.
(<https://www.bruker.com/pt/products-and-solutions/elemental-analyzers/xrf-spectrometers.html>).
- Marca – Bruker;
 - Modelo - S2 Ranger
- V. Preparação de amostra – Moinho Pulverizador de Panela.
(https://amef.com.br/moinho_pulverizador_amp1_m.html).
- Marca – AMEF.
 - Modelo – AMP1-M
 - RPM – 1120
 - Granulometria entrada - $< 5\text{mm}$.
 - Granulometria final – 400 *Mesh* (malha).
- VI. Prensa de preparação de amostras.
(https://amef.com.br/prensa_ap25.html).
- Prensa hidráulica;
 - Marca – AMEF;

- Modelo – AP-25T;
- Pressão – 1 – 25 Toneladas.

VII. Balança digital.

- Marca – SHIMADZU;
- Capacidade – 0,5g à 6200g;
- Precisão – 0,1g.

3.3 MÉTODOS DE TRABALHO.

O desenvolvimento de um novo material, produto, necessita de várias etapas, vários procedimentos e testes que visam o desenvolvimento do material, as técnicas de preparação e a formulação mais adequada. O método de trabalho aplicado foi da experimentação; a partir do local de aplicação, de utilização do revestimento (*Coating*), como a temperatura ambiente, acima de 800° C (oitocentos graus Celsius), substrato (metálico) onde será aplicado o revestimento, utilização de materiais que em contato com o metal não mude suas características, materiais similares a escória ou que possam ser incorporados por ela, pigmentos, solventes, cargas e aditivos que incorporem resistência mecânica, espessura de camada e refratariedade ao revestimento. Com base nos parâmetros iniciais, a composição de tintas base água, tintas refratárias, desmoldantes para fundição e ainda a utilização da temperatura como fonte de energia para a expansão molecular do revestimento, chegamos aos materiais base, aqui listados.

Estes materiais, conformes suas características, foram manipulados (moídos e peneirados) manipulados qualitativa e quantitativamente a seco, misturados, preparados com a adição de água, inicialmente de forma manual passando a mecanizado, aplicados de forma manual por pistola (*spray*) em corpos de prova com o mesmo substrato (metálico) do local de utilização, e exposta as características do ambiente de trabalho, temperaturas superiores a 800°C; foram realizadas várias composições com variação das cargas, solvente e pigmentos, vários testes com o objetivo de alcançar as seguintes características:

- A qualidade de “**Craquelar**” (Possuir fendas, rachaduras, trincar) a temperaturas superiores a 750°C.
- A refratariedade da mistura;
- A espessura de camada;

3.3.1 Preparação e tratamento dos materiais.

I. Matérias primas.

- Identificação – Manual.
- Moagem - Moinho de esferas - PULVERISETTE 5/2, Redução do tamanho dos grãos” e “Moinho Pulverizador de Panela”.
- Peneiramento - Agitador eletromagnético de peneiras – 28, 35, 48, 65, 100, 150, 200, e 270 *Mesh* (malha).
- Separação e identificação – Manual.

II. Mistura a seco.

- Pesagem - Balança de precisão – Manual.
- Adição dos componentes - Espátula - Manual.
- Mistura manual nos recipientes.

III. Preparação da tinta.

- Adição da mistura – Manual.
- Adição água Gradual - Becker graduado 250 e 500 ml – Manual.
- Mistura - Liquidificador Philips Walita.
- Verificação da Viscosidade:
 - Manual - Copo Ford nº 4 – Manual.
 - Viscosímetro rotacional - análise da viscosidade dinâmica.

3.3.2 Aplicação

I. Preparação das amostras.

- Corpo de prova - Fabricação de 4 (quatro) cilindros metálicos, Tubo $\varnothing 3"$ (diâmetro 76.2 mm), Schedule 40 (espessura 5,49 mm), comprimento 150 mm, material Aço ASTM A-53.
- Pesagem cilindros metálicos – Cilindro $\varnothing 90$ mm, altura 150mm – Aço – peso ≈ 1614 g - Balança de precisão – Manual.
- Pré-aquecimento dos cilindros à 125°C – Encharque 30 min. - Forno Mufla Microprocessado - Q318M25T.
- Montagem, ajuste de pressão e teste pistola – Pressão máxima 3 a 4 bar – Pistola Pintura Gravidade; compressor de ar Laboratório de Carpintaria UniFOA – Manual.

II. Aplicação da Tinta.

- Adição de 350 a 500 ml de tinta no copo da pistola - Pistola Pintura Gravidade – Manual.
- Retirada do cilindro metálico do forno Mufla, posicionamento em bancada - Laboratório de Carpintaria UniFOA – Manual.
- Ajuste forno Mufla aquecimento, encharque, temperatura 800°C – tempo médio encharque 120 minutos.
- Pintura dos cilindros - Pistola de pintura gravitacional, pneumática, bico de 1,5 e 2,0 mm - Manual.
- Secagem natural por 30 a 60 minutos - Laboratório de Carpintaria UniFOA – Manual.

3.2.3 Teste

I. Teste da Tinta.

- Retirada dos cilindros – resfriamento natural a temperatura ambiente – 25 a 30 °C - manual;
- Teste do sopro de Ar comprimido diretamente nas faces pintadas, verificação de aderência – Manual;
- Verificação de espessura e quantidade de tinta depositada – Micrômetro – Balança digital – Manual;
- Avaliação de aderência – Adaptação da norma ABNT (NBR 11003:2009).

II. Teste de Campo.

Devido a impossibilidade de acesso as Siderúrgicas, segurança e liberação do material, não foi possível a realização dos testes de campo nas lanças de oxigênio de Conversores LD. Com aplicação similar, proteção de superfície metálica contra a aderência de metal líquido e escórias, os testes ocorreram nas dependências de empresa da região Sul Fluminense, que cedeu alguns dos produtos como o Cimento Aluminoso e os coprodutos, escória e pó de magnésio. Os testes em loco da tinta, *coating* (revestimento), foram realizados no departamento de Metalurgia, Fornos Elétricos, postos de escorificação manual, esquimagem de escória (*Scum/ Deslagging*) mecanizada, nos potes (caçambas) de escória, Figura 7, e teste de imersão de tubo de aço, revestido para camada de proteção da tinta, em gusa líquido nos fornos elétricos, durante o processo de produção de ferro líquido (gusa).

- Pintura manual na parte interna do pote de escória – Utilizando Pistola manual pneumática de pintura – Bico de 2,0 mm – baixa espessura de camada.
- Pintura manual com rolo de pintura - tipo lã de carneiro - 23cm - 1320 tigre.

Figura 7 - Pote de Escória - empresa da região.



Fonte: Própria, 2020.

4 FORMULAÇÃO DA TINTA (COATING)

Os materiais comerciais como a Diatomita, Cimento Aluminoso, Caulim, Bentonita são fornecidos em pó, com granulometria controlada menor que 2 μm (400 *Mesh* (Malha)), a Vermiculita único produto com variação granulométrica entre 1,0 e 0,3 mm, os coprodutos das siderurgia e metalurgia de fabricação de ferro gusa, aço e ferro fundido nodular, foco desta dissertação, como a escória granulada, pó de magnésio e demais coprodutos gerados na fabricação do ferro fundido que podem ser reutilizados, estão na grande maioria em sua forma natural, com granulometria variando entre 5,0 mm e 0,05 mm, conforme Tabela 11. Para sua utilização como componentes da mistura, visando sua aplicação mecanizada, por pistola pneumática de pintura, foi necessário processar estes materiais utilizando o Moinho de esferas - PULVERISETTE 5/2 (FOA) e o Moinho Pulverizador de Panela (empresa da região), com o objetivo de redução do tamanho do grão para o tamanho máximo de 0,5 mm (500 μm (35 *Mesh* (malha))).

Tabela 11 - Distribuição granulométrica Vermiculita, Escória granulada e MgO.

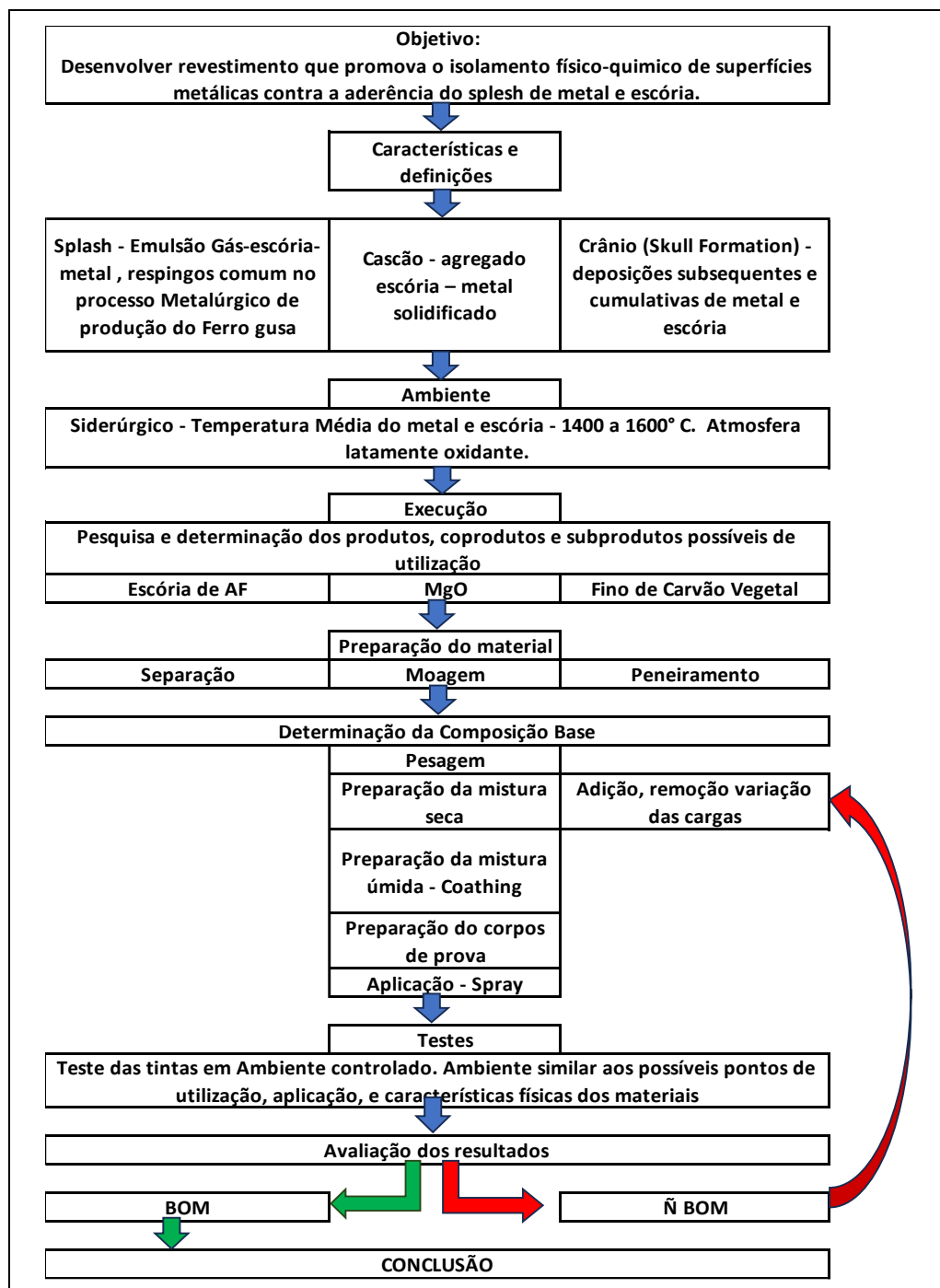
Peneira		(% Retido)		
Malha (<i>Mesh</i>)	Abertura (mm)	Vermiculita moída	Escória Moída	MgO
28	0,600	0,00	0,34	20,00
35	0,500	4,00	0,28	22,83
48	0,300	17,50	1,12	30,00
65	0,212	23,30	5,38	19,85
100	0,149	16,50	10,90	3,71
150	0,106	14,60	26,52	1,89
200	0,074	8,00	29,50	1,32
270	0,053	16,10	16,14	0,18
Fundo	0,00	0,00	9,82	0,22
		100,00	100,00	100,00

Fonte: Própria, 2020.

4.1 FORMULAÇÃO DO PROCESSO DE DECISÃO

O Fluxograma do processo de execução, análise, retroalimentação do processo de avaliação e decisão utilizado na execução do trabalho, Figura 8.

Figura 8 – Formulação da decisão.



Fonte: Própria, 2020.

4.2 EXECUÇÃO DAS TINTAS

A tintas em geral são compostas, basicamente por: pigmento, veículo (aglutinador), solvente e aditivos.

- Os pigmentos são substâncias sólidas que proporcionam durabilidade, opacidade, consistência, resistência e cor à tinta.
- Resina, conhecida como ligante ou aglutinante, ou veículo sólido, é a parte não-volátil, que adere ao pigmento.
- O solvente é um veículo volátil, de baixo ponto de ebulição, incolor e neutro, e capaz de solubilizar as resinas, formando mistura homogênea e melhorando sua viscosidade a aplicabilidade das tintas.
- Os aditivos conferem-lhe importantes propriedades baseada em suas funções, como catalisadores, cecantes, entiespumantes, entre outros.

A formulação da tinta proposta nesta dissertação não compreende exatamente as formulações normais de tintas com solventes e ou resina, contendo basicamente água e cargas minerais, ficando mais próximas das “Tintas à Base Cimento - A tinta à base de cimento ou cimentícia a base de água, isenta de solventes, que utiliza cimento branco e cal hidratada, com adição ou não de pigmentos, sais higroscópicos e ou produtos repelentes à água” (ANGHINETTI, 2012).



- CSH - Silicato de cálcio hidratado;
- $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – Cal hidratada

4.2.1 Formulação do composto Base

A primeira etapa para a preparação da tinta à base de água proposta, corresponde a preparação da composição e sua aplicação, visando a determinação do composto Base, determinação da viscosidade própria para aplicação por pistola pneumática, espessura de camada e a fixação em superfícies metálicas.

As 10 primeiras composições apresentadas na Tabela 12, tiveram como base a Diatomita, aditivo mineral adicionado a tinta aumenta a resistência, controla a permeabilidade, reforça a adesão, entre outros benefícios.

Tabela 12 – Formulação composto Base – Mistura de 1 à 10.

Misturas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Composição (%)									
Água	78,0	50,0	50,0	50,0	77,0	68,0	64,0	60,0	56,0	52,0
Bentonita Calcinada	3,0		3,0	3,0						
Diatomita	19,0		10,0	10,0	8,0	14,0	13,0	10,0	9,0	25,0
MgO		5,0	3,0	3,0	15,0	4,0	4,0	3,0	3,0	5,0
Escória		5,0	4,0	4,0			6,0	4,0	3,0	5,0
Vermiculita		40,0	30,0	30,0		14,0	13,0	20,0	17,0	6,0
Cimento Aluminoso										
Caulin										
Bentonita										
Resina Alquídica								3,0	12,0	
Acetato de polivinila										7,0
Silicato de Sódio										
Total (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Peso total Mistura seca (g)	500	500	500	501	325	365	390	500	287,6	485

Fonte: Própria, 2020.

Resultados preliminares:

- I. As quatro primeiras amostras devido a forma de mistura, manual, sequência de adição dos materiais e aglomeração; houve a formação de grumos gelatinosos devido a sequência de adição – água – carga mineral – óxido de magnésio (MgO).
 - a. Esta sequência de adição gerou viscosidade variada.

- b. A carga mineral sedimentou, não havendo homogeneidade na mistura.
- c. Na aplicação ocorreu o entupimento da pistola de pintura.

Estes fatores inviabilizaram o aproveitamento das quatro primeiras misturas.

- II. As misturas de 05 a 10, após a mudança no processo de mistura com preparação manual das misturas a seco e posterior adição gradual de água, não ocorreu a formação de grumos.
 - a. Aplicação manual por pistola de pintura pneumática;
 - b. Quantidade de tinta produzida – média de 350g em 6 misturas;
 - c. Espessura de camada $\approx 0,1$ mm;
 - d. Boa cobertura e fixação, Figura 9;
 - e. Expansão térmica da Vermiculita, ocorreu conforme previsto, Figura 10;
 - f. Comprovada a característica de revestimento craqueláveis (colapsável), quebradiço a alta temperatura, Figura 11;
 - g. Teste de sopro de ar direto na superfície pintada, aprovado com a remoção média de 35% da matéria leve, craquelada no aquecimento, Figura 12.

Figura 9 - Amostras 05 – 10 – Pintura



Fonte: Própria, 2020.

Figura 10 - Secagem amostra em forno Mufla.



Fonte: Própria, 2020.

Figura 11 - Amostras Prontas - Secas



Fonte: Própria, 2020.

Figura 12 - Teste de sopro de Ar direto na superfície pintada - Bico de Ar comprimido Pressão – 5 Bar.



Fonte: Própria, 2020.

Após a verificação dos resultados e a confirmação das características do material, craquelar, refratariedade e espessura de camada; foi executado o teste de expansibilidade da Vermiculita para verificação da capacidade do material de gerar as trincas, colapsar a tinta e a temperatura que ocorre a expansão.

De acordo com Silveira (2005), a vermiculita quando aquecida lentamente, passa por um processo de desidratação que culmina na contração de sua estrutura. No entanto, quando a perda de moléculas de água ocorre de forma rápida, como num processo de aquecimento brusco em temperaturas entre 800-1000°C, a vermiculita pode sofrer o processo de esfoliação, ou expansão (SILVA, 2009; SILVEIRA, 2005). Segundo Silveira (2005) e Ugarte *et al* (2004), quando a retirada de água é feita até 150°C, a mesma é reversível, e não ocorre esfoliação, pois remove-se apenas a água responsável pela umidade, podendo a vermiculita reabsorver água à partir do meio ambiente, sem prejuízo às propriedades piroexpansíveis. Na faixa de temperatura que vai desde 150 até 250°C, elimina-se a água quimicamente ligada à vermiculita. Em temperaturas à partir de 800°C, a água retirada da vermiculita é proveniente dos grupos hidroxila, de forma irreversível, o que contribui para as alterações físicas e mecânicas observadas na vermiculita expandida (UGARTE *et al*, 2004).

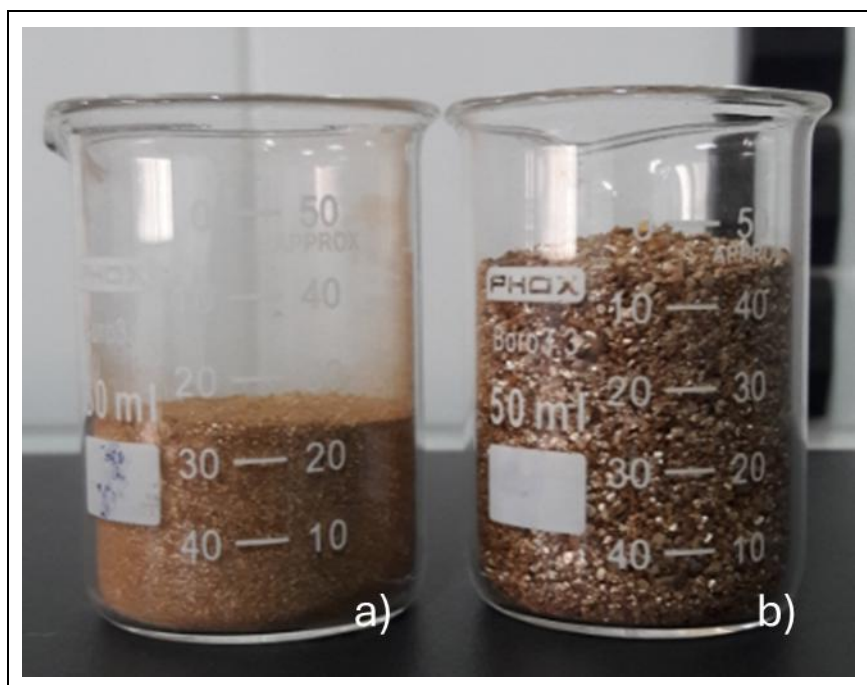
Nos testes foram utilizados dois becker com 20g de vermiculita, os dois recipientes continham vermiculita moída com granulometria média ente 300 μ m e 100 μ m, um recipiente a vermiculita foi umedecida com 25% de água (5g), o segundo recipiente foi mantida in natura.

Após a estabilização da temperatura do forno mufla em 800°C, as duas amostras in natura e umedecida foram colocadas no forno por 30 minutos.

Conclusão do teste de expansão da vermiculita – após a retirada do forno, manutenção por uma hora a temperatura ambiente, 25 e 30°C, conforme Figura 13:

- a. Vermicula In natura – expansão média de 2%.
- b. Vermiculita umedecida – expansão média de 98%.

Figura 13 – Foto Teste expansão da Vermiculita.



Fonte: Própria, 2020. a) In natura 14; b) Expandida.

4.2.2 Estabilização e variação do composto Base.

Na tabela 13 são apresentadas as variações das composições executadas nas misturas de 11 a 18.

Tabela 13 – Tabela composto Base Mistura de 11 à 18.

Misturas	11	12	13	14	15	16	17	18
	Composição (%)							
Água	48,0	48,0	48,0	48,0	51,0	51,0	51,0	51,0
Bentonita Calcinada								
Diatomita	19,0	19,0	19,0	19,0	20,0	20,0	31,0	20,0
MgO	5,0	1,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Escória de Alto forno	7,0	15,0	15,0	15,0	11,0	11,0	11,0	11,0
Vermiculita	7,0	7,0	7,0	7,0	13,0	13,0		
Cimento Aluminoso	5,0	5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0%	1,0
Caulin								13,0
Bentonita								
Resina Alquídica								
Acetato de polivinila	10,0							
Silicato de Sódio		5,0	5,0	5,0				
Total	101%	100%	100%	100%	101%	101%	99%	101%
Massa seca - (g)	315	315	315	315	566,2	283,1	283,1	283,1

Fonte: Própria, 2020.

Resultados preliminares:

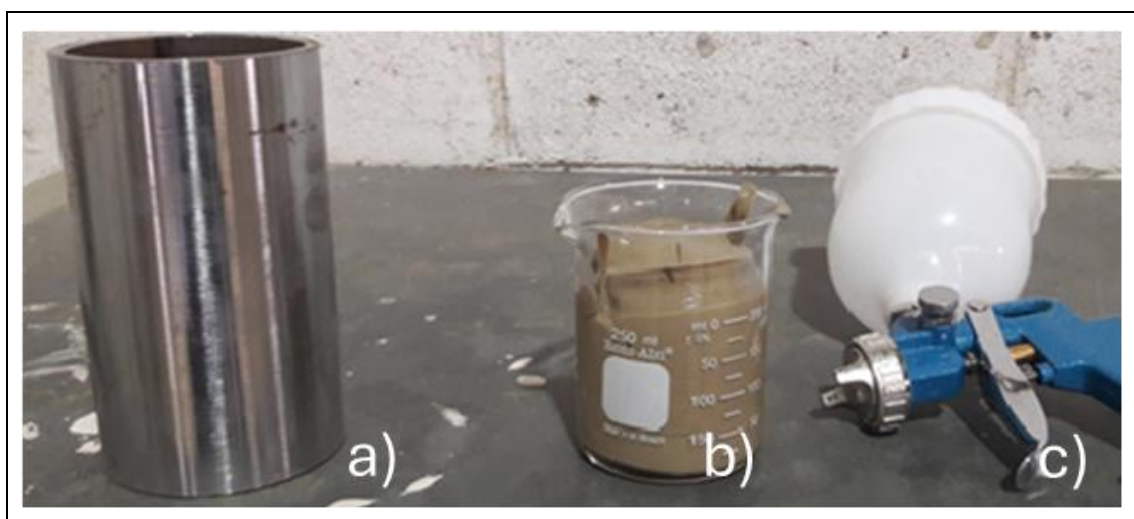
As misturas de 11 a 18, após a definição da forma de misturar os ingredientes e a introdução de outros materiais teve-se:

- a. Mistura 11 – adição de Acetato de polivinila – na dição do material durante o processo de mistura manual, a matéria mineral agregou ao

acetato, criando bolas, grumos macios com o MgO, não sendo possível sua aplicação.

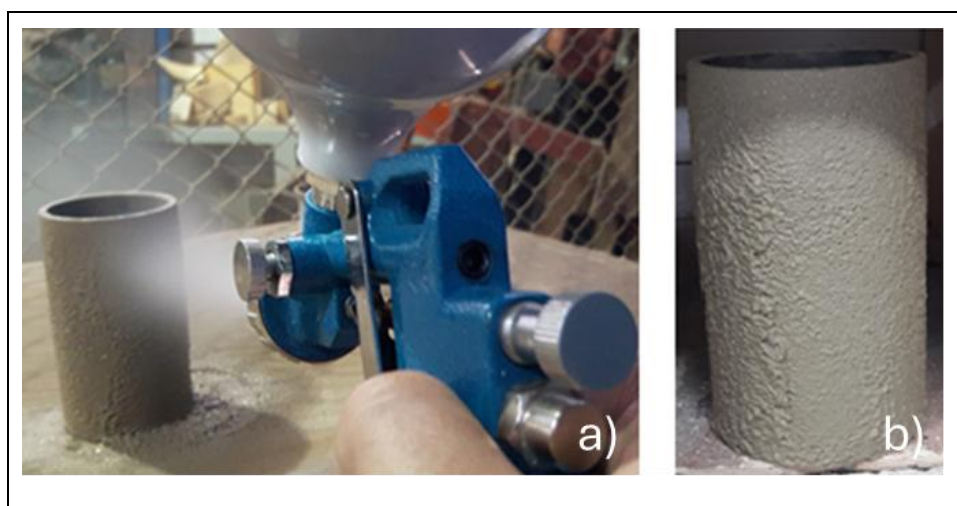
- b.** Mistura 12, 13 e 14 – adição de Silicato de Sódio, houve boa diluição durante o processo de mistura, não foi observada a ocorrência de grumos, porém o sólido em suspensão na mistura decantou rapidamente, houve pouca adesão a superfície metálica, baixa espessura e vários pontos de escorrimento.
- c.** Mistura 15, 16, 17 e 18 – a partir da mistura 15, para a mistura úmida, foi introduzido o Liquidificador Philips Walita Daily RI2110, com o objetivo de homogeneizar a mistura. A partir deste ponto a viscosidade aumentou, não foi mais observado a decantação do material sólido, houve a estabilidade da mistura, após 24 horas da mistura pronta, armazenada em recipiente hermético, ocorreu 7% de desidratação da mistura 15.
- d.** A mistura apresentou boa viscosidade aparente, Figuras 14 e 15, fácil aplicação por pistola e pincel, boa espessura de camada final.

Figura 14 - Equipamentos para aplicação da tinta.



Fonte: Própria, 2020. a) Tubo de aço; b) Becker Tinta; c) Pistola manual de pintura.

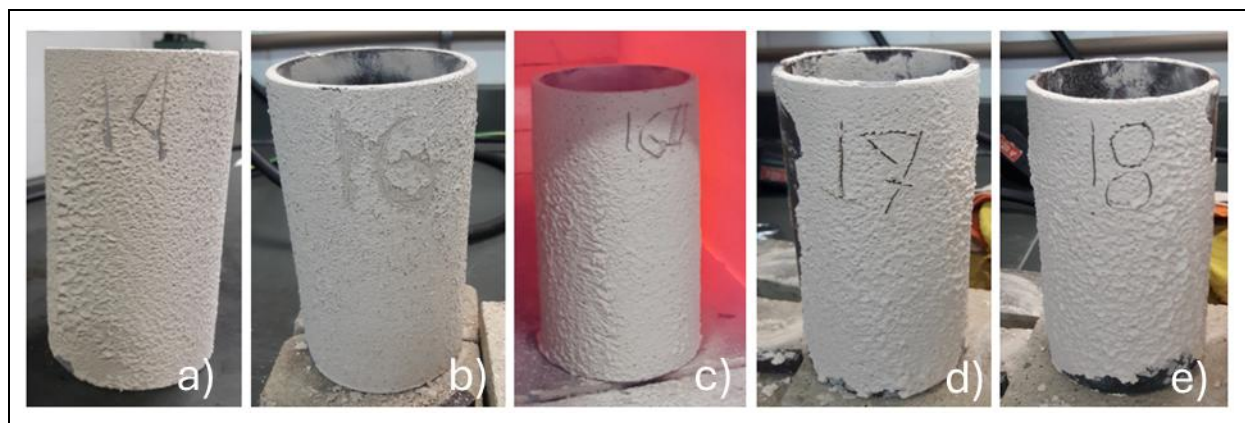
Figura 15 – Foto de aplicação da tinta.



Fonte: Própria, 2020. a) Aplicação tinta por pistola manual; b) Tubo pintado.

- e. A redução da carga de vermiculita na mistura reduz acentuadamente o efeito de craquelamento, quebradiço a alta temperatura, amostras 16II, 14 e 15, Figura 16.

Figura 16 – Fotos das Amostras 14, 16, 16II, 17 e 18.



Fonte: Própria, 2020. a) Amostra 14; b) Amostra 16; c) Amostra 16 II; d) Amostra 17; e) Amostra 18.

4.2.3 Viscosidade das amostras

Viscosidade é a resistência aparente de um fluido ao escoamento, resistência interna ou fricção interna, atrito interno de uma substância, um fluido ao fluxo. Quanto maior a viscosidade da substância, maior o índice de viscosidade, mais difícil de

escoar. Um fluido é uma substância que se deforma continuamente quando sujeito à ação de uma força. O índice ou coeficiente de viscosidade de um fluido varia, diminui, com o aumento de temperatura. A viscosidade dos líquidos está diretamente relacionada as forças intermoleculares.

As primeiras amostras de material produzidas, amostras 01 a 14, devido a mistura manualmente de baixa intensidade e tempo de mistura, estas apresentaram grumos e grande variação de viscosidade; a partir da amostra 15, com a introdução do liquidificador, houve a estabilização e a homogeneização da viscosidade.

Conforme a classificação dos fluidos em Newtonianos e Não Newtonianos:

- a. Fluidos Newtonianos - seguem a Lei de Newton, sua viscosidade é constante, engloba todos os gases e líquidos homogêneos como a água, leite, soluções de sacarose, óleos vegetais, líquidos, não poliméricos.
- b. Fluidos Não Newtonianos – não existe simetria, constância, entre a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento.

As primeiras amostras produzidas apresentavam características de fluido Newtoniano, devido a mistura incompleta, porém não foi possível a execução dos testes completos, conforme padrão de execução, com Copo Ford nº 4 (Normas ASTM (D1200:2014), ABNT (NBR 5849:1986)), Figura 17, o fluido não escoou por completo do copo Ford, escoamento incompleto, entupimento, decantação, retenção do material no fundo, o que impediu a avaliação completa, fluido aquoso com baixa solubilidade dos matérias, comportando como fluido Newtoniano, escoamento no copo Ford nº4, Figura 17, segundo norma ASTM (D1200:2014), Tempo médio de 1'25"s \approx 310 cST (Centistokes) ou 310 cP (Centipoise).

Norma ASTM (D1200:2014) - Copo Ford nº4:

$$V_4 = 3.85(t-4.49) \Rightarrow V_4 = 3.85(85-4.49) \Rightarrow V_4 = 309,96 \text{ Cst.} \quad (3)$$

- V_4 – Cst (Centistokes).
- t – s (segundos).

Figura 17 – Foto teste de Viscosidade Copo Ford n° 4 - Amostra 1 - 14.



Fonte: Própria, 2020.

A partir da amostra número 15, com a introdução da mistura úmida mecanizada, Liquidificador Philips Walita Daily RI2110, as misturas ficaram mais homogêneas, com alta viscosidade mudando de fluido líquido Newtoniano para fluido pastoso não newtoniano disposto na Figura 18, o fluido apresentou a característica de colapso entre camadas, apesar desta característica, não foi possível determinar em qual classe o fluido melhor se encaixa.

Fluidos Não Newtonianos dependente do tempo:

Estes fluidos apresentam propriedades que variam com o tempo de aplicação da tensão, tensão de cisalhamento, para uma velocidade constante de cisalhamento.

- Classe Tixotrópicos - Sua viscosidade varia com a aplicação da tensão, com o tempo, a viscosidade diminui, eliminando a tensão se tornando mais viscoso. Exemplo: suspensões concentradas, emulsões, soluções protéicas, petróleo cru, tintas, ketchup.

- Classe Reopéticos - Sua viscosidade aumenta com o tempo de aplicação da tensão, estes tem comportamento inverso aos fluidos tixotrópicos, eliminando a tensão, retorna à viscosidade inicial. Ex.: argila bentonita (CHHABRA; RICHARDSON, 2008).

Figura 18 – Fotos teste de Viscosidade Copo Ford n° 4 – amostra 19 – 32.

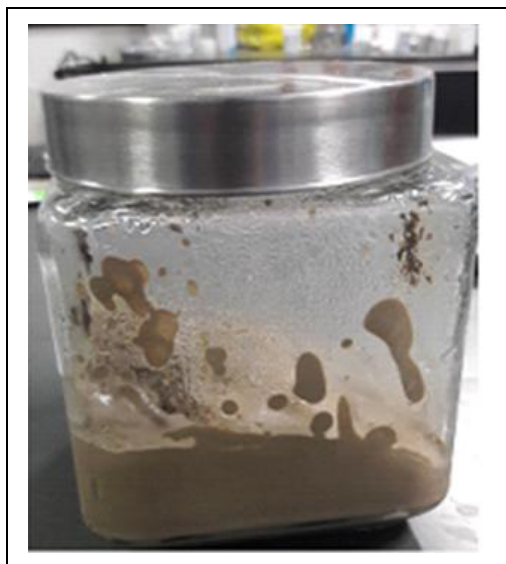


Fonte: Própria, 2020.

4.2.4 Variações das misturas e teste de campo.

As amostras iniciais estabeleceram o processo de fabricação e aplicação do produto, sua formulação, processo de mistura, sequência de adição, mistura seca e úmida, sistema de armazenagem, durabilidade e tempo de vida útil da mistura pronta.

Houve um período de recesso, até o retorno as atividades e aos testes em campo. As sobras das misturas 17 e 18, cerca de 355 g de mistura foram armazenadas em um recipiente fechado, Figura 19, porém não totalmente hermético; ao ser aberto o material apresentava superfície vitrificada, homogênea, macia e consistente, com perda percentual de 15% da umidade inicial, após a adição de água e mistura no liquidificador, a amostra pode ser aplicada normalmente por pistola de pintura, dando sequência a preparação das amostras e teste conforme disposto na Tabela 14.

Figura 19 – Fotos teste de armazenagem por longo período.

Fonte: Própria, 2020.

Tabela 14 – Tabela das Amostras de 19 à 32.

Misturas	19	20	21	22-27	28	29	30	31	32
	Composição (%)								
Água	57,0	57,4	64,0	64,0	64,0	64,0	69,0	70,0	70,0
Bentonita									
Diatomita	17,0	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	14,0	14,5	14,5
MgO	4,0	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	5,0	4,0	4,0
Escória	9,0	8,7	5,7	5,7	5,7	5,7	4,5	4,5	4,5
Vermiculita	9,0	7,0	5,7	5,7	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Cimento Aluminoso		1,0							
Caulin	-		-	-	-	-	-	-	-
Bentonita	4,0	4,0	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,0	2,0
Resina Alquídica									
Acetato de Polivinila									
Silicato de Sódio									
Total	100	100	100	100	99	99	100	100	100
Massa seca (g)	1322	1252	106	600	600	600	610	600	600

Fonte: Própria, 2020.

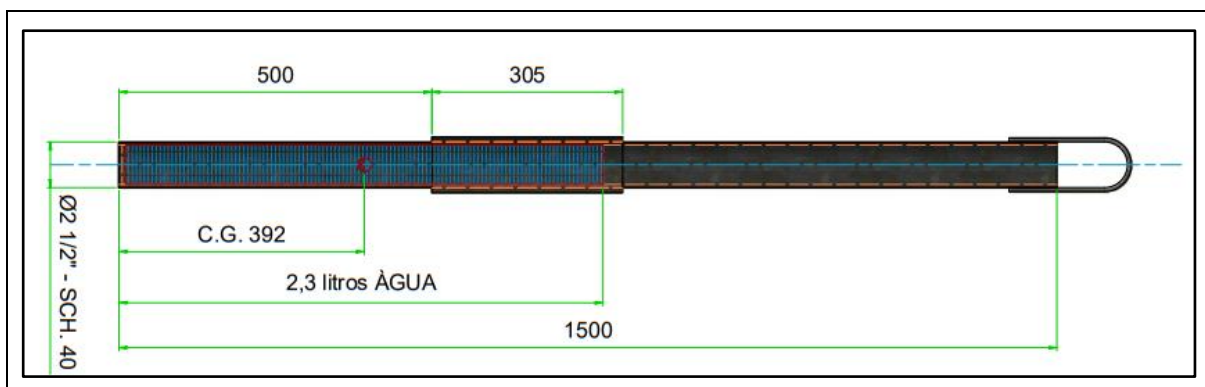
4.2.4.1 Primeiro Teste de campo

O primeiro teste de campo, possível, ocorreu nas dependências de empresa da região Sul Fluminense, no mês de maio de 2020, teste de imersão no banho de gusa líquido com o objetivo de avaliar:

- Resistência mecânica ao cisalhamento, arrancamento por arraste e choque térmico;
- Refratariedade da tinta;
- Adesão do metal líquido a barra de teste;
- Choque térmico – elevação instantânea da temperatura de 32 °C para $\approx 1400^{\circ}\text{C}$.

Para o teste foi confeccionado um corpo de prova para a imersão, tubo de aço ASTM A-53, Schedule 40 (espessura 5,16 mm), diâmetro 63 mm (2,5") com comprimento de 1500 mm, peso de 17,85 kg, Figura 20, 2,35 litros água, peso total 20,2 kg; para a introdução do tubo no banho de gusa líquido, pesos específico 7.150 kg/m³, com empuxo $\approx 7,15$ vezes maior que o da água, foi necessário abaixar o centro de gravidade do tubo de teste com a inclusão de peso adicional na parte externa, tubo de diâmetro 76,2 mm (3") com 4,5 kg.

Figura 20 – Desenho do tubo de teste de imersão no Gusa Líquido.



Fonte: Própria, 2020.

Teste realizado nas dependências da empresa da região – Departamento Metalurgia, Fornos Elétricos IT-9, forno de fusão e correção, temperatura do gusa 1368°C, apresentado na Figura 21.

- Aplicação da tinta, manual por pistola de pintura pneumática;
- Foram realizados dois testes, mesma lança e pinturas sobrepostas.

Figura 21 – Fotos teste de Imersão no Gusa Líquido.



Fonte: Própria, 2020. a) Tubo pintado; b) Imersão no metal líquido; c) Tubo após a imersão.

Avaliação primeiro teste:

- Na introdução da lança no banho, houve o aborbulhamento por choque térmico;
- A tinta resistiu e não houve o destacamento, o cisalhamento por contato, pelo choque térmico;
- Tinta com boa refratariedade;
- Não houve adesão de metal ou escória na superfície metálica do tubo.
- Ocorreu o craquelamento, o destaque a alta temperatura da vermiculita.

4.2.4.2 Segundo Teste de Campo

O segundo teste de campo, possível, realizado com a tinta, nas dependências da empresa da região, Departamento de Metalurgia, Fornos Elétricos IT-6, posto de escorificação manual, esquimagem de escória (*Scum/Deslagging*), nos potes (caçambas) de escória, com objetivo de verificação:

- Resistência mecânica ao impacto, arrancamento por impacto e arraste;
- Refratariedade da tinta;
- Adesão do metal líquido as paredes metálicas do pote;
- Extração do material;
- Espessura de camada.

Teste realizado, temperatura do gusa 1428°C.

- Aplicação manual por pistola de pintura pneumática, Figura 22;
- Tinta Amostra 28; 29 e 30;
- Pote de escória – Temperatura – 55°C.
- Pote de escória pintado no posto de esquimagem, Figura 23;
- Escorificação, esquimagem da panela de Ferro Líquido, Figura 24,
- Remoção e descarte da escória, Figura 25.

Figura 22 – Foto pintura manual Pote de Escória.



Fonte: Própria, 2020.

Figura 23 – Foto posto de escorificação – Escumação.



Fonte: Própria, 2020.

Figura 24 – Foto escorificação de panela de ferro gusa – Escumação.



Fonte: Própria, 2020.

Figura 25 – Fotos Retirada pote de escória para descarte.



Fonte: Própria, 2020. a) Pote com escória após um turno de operação; b) Pote limpo após descarte da escória; c) Pote limpo sem adesão de escória.

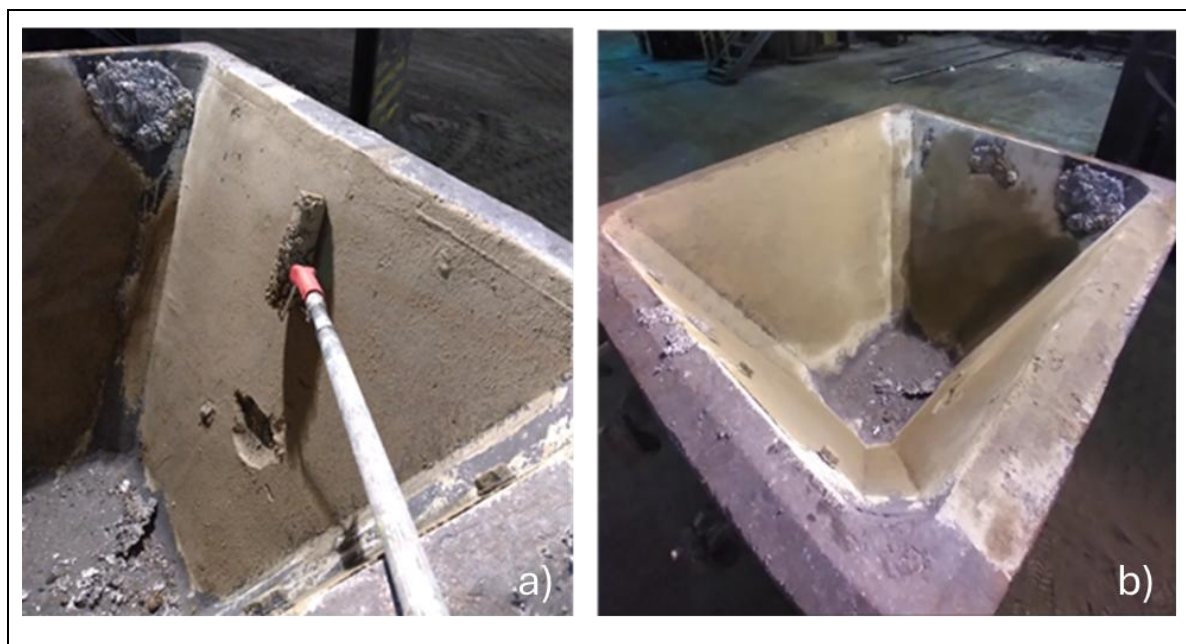
4.2.4.3 Terceiro Teste de Campo

Teste realizado em pote de escória temperatura do gusa 1432°C.

- Aplicação manual por rolo tipo lã de carneiro - 23cm - Tigre, Figura 26;

- Tinta Amostra 28 e 32;
- Pote de escória – Temperatura – 29°C.
- Pote de escória pintado no posto de esquimagem, Figura 27;
- Remoção e descarte da escória, Figura 28, 29 e 30.

Figura 26 – Fotos Segundo teste com Pote de Escória – pintura.



Fonte: Própria, 2020. a) Aplicação da tinta no pote por rolo de pintura; b) Pote pintado.

Figura 27 – Fotos Pote no posto de escorificação, esquimagem.



Fonte: Própria, 2020. a) Pote pintado; b) Esquimagem de panela de ferro líquido; c) Escória líquida após esquimagem.

Figura 28 – Foto transporte pote com escória. e descarte da escória.



Fonte: Própria, 2020.

Figura 29 – Foto limpeza do pote por basculamento, descarte da escória.



Fonte: Própria, 2020.

Figura 30 – Foto da remoção e descarte da escória.



Fonte: Própria, 2020. a) Pote escória sem escória aderida; b) Superfície externa escória solidificada com a tinta.

5 CONCLUSÕES

A utilização dos subprodutos, coprodutos como a Escória e o Óxido de Magnésio, pó de balão, finos de minério e carvão, além do desenvolvimento de uma nova aplicação para a Vermiculita, se mostrou viável técnica e financeiramente.

A disponibilidade quantitativa e qualitativa destes coproduto da siderurgia e metalurgia, aplicados na produção de tinta, desmoldante e ou produtos visando a aplicação nos processos metalúrgicos e siderúrgico, fecham o círculo produtivo com o reaproveitamento destes coprodutos, além de melhoria de eficiência, produtividade, redução do custo de manutenção e viabilidade técnica-econômica.

Objetivo:

Sustentabilidade, reaproveitamento de rejeitos, subprodutos e coprodutos do processo de fabricação e ferro gusa e aço, não se limitando somente a estes. Desenvolvimento de uma Tinta (Desmoldante, Revestimento isolante (*Coating*)), de baixa espessura de camada, craqueláveis (colapsável), quebradiço a alta temperatura utilizando subprodutos ou coprodutos gerados na produção de ferro gusa e aço.

Resultado:

A tinta desenvolvida, revestimento isolante a base de água, se mostrou viável técnica e economicamente, alcançou os objetivos de sustentabilidade com a utilização dos subprodutos como a escória, óxido de magnésio, finos de carvão vegetal e outros pós.

Técnica e economicamente o material se mostrou resistente a temperaturas de até 800°C, autolimpante, craqueláveis (colapsável), a temperaturas superiores a 800°C, impede e ou dificulta, a adesão de fagulhas, emulsão metal líquido escória (*Splash*), as superfícies metálicas, revestimento de fácil aplicação, fácil remoção, remoção natural sem a necessidade de intervenção mecânica e pode ser reaplicado em camadas subsequentes.

6 TRABALHOS FUTUROS

Definição da viscosidade das amostras e classificação quanto a fluido Newtoniano ou Não Newtoniano.

Introdução de outros subprodutos, produtos e coprodutos da indústria, no intuito de seu reaproveitamento e utilização residencial para proteção térmica.

Definição quanto a classificação como Geopolímero.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6916** - Ferro fundido nodular ou ferro fundido com grafita esferoidal — Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____. **ABNT NBR 5849** - Determinação de Viscosidade Pelo Copo Ford — Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

_____. **ABNT NBR 11003** -Determinação de Aderência de Tintas — Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.

_____. **ABNT NBR NM ISO 3310-1** - Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico — Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

_____. **ABNT NBR 10004** - Resíduos sólidos – Classificação — Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASTM - American Society for Testing Materials. **ASTM D 1200** - Standard Test Method for Viscosity by Ford Viscosity Cup. In: Annual Book of ASTM Standards, 2014.

_____. **ASTM A53/A53M** - Standard Specification for Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded and Seamless. In: Annual Book of ASTM Standards, 2000.

ACCIARITO FILHO, E.; BARBOSA; A. A. **Caracterização Tecnológica de Escórias de Aciaria**. 46º Seminário de Aciaria – Internacional - ABM Week, Rio de Janeiro, 2015.

_____. **Dispositivo Automatizado de Remoção de Cascão nas Lanças dos Conversores LD RCL – MVL -01 – INPI: No 8603033-7***. 46º Seminário de Aciaria – Internacional - ABM Week, Rio de Janeiro, 2015.

AMEF. **Moinho Pulverizador de Painela AMP1-M**. Disponível em: https://amef.com.br/moinho_pulverizador_amp1_m.html. Acesso em: maio/2023.

AMEF. **Prensa AP-25T**. Disponível em: https://amef.com.br/prensa_ap25.html Acesso em: maio/2023.

ANDRADE, T. L. *et al.* **Otimização da síntese das fases de cimento de aluminato de cálcio para fins biomédicos**. Cerâmica, S. José dos Campos, p.88-95, 2014.

ANGHINETTI, I. C. B. **Tintas, suas Propriedades e Aplicações Imobiliárias**. Monografia. Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG, 2012.

ALMEIDA, G. M. **Utilização de escória produzida em alto-forno a carvão vegetal como agregado graúdo e miúdo para concreto**. Pós-graduação, UFP. Belem, 2014.

ALMEIDA, E. *et al.* **New Bof Performance at Gerdau Ouro Branco by Slagless® Technology**. 48º Seminário de Aciaria, ABM WEEK, 2017.

ALUSIL REFRAATÓRIOS, site. Disponível em: <https://www.alusil.com.br/>. Acesso em: maio/2023.

ANDRADE, T. L. *et al.* **Otimização da síntese das fases de cimento de aluminato de cálcio para fins biomédicos**. Cerâmica, S. José dos Campos, p.88-95, 2014.

ANGHINETTI, I. C. B. **Tintas, suas Propriedades e Aplicações Imobiliárias. Monografia**. Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. **Informações Técnicas - Matérias-Primas Sintéticas: Cimento Aluminoso**. São Paulo, 2011.

BRASIL MINÉRIO. **Vermiculita Expandida**. Disponível em: <https://brasilminerios.com.br>. Acesso em: maio/2023.

BERTOLINO, L. C. *et al.* **Caracterização Mineralógica e Beneficiamento do Caulim de Prado (BA)**. Holos, v. 5, p. 83-92, 2012.

CHHABRA, R. P.; RICHARDSON, E. J. F. **Non - Newtonian Flow and Applied Rheology**. Second Edition - Editora: ELSEVIER & BH - 2008.

DAS, B. *et al.* **An overview of utilization of slang and sludge from steel industries**. Resources, Concervation and Recycling, v. 50, p. 40-57, 2007.

DELLA, V. P., JUNKES, J. A., KUHN, I., HIELLA, H. G., HOTZA, D. **By-product Utilization of Metallic Recovering of Stainless Steel Slags in The Ceramic Pigments Synthesis: Raw Material Characterization**. Cerâmica, 2005, vol. 51, n. 318.

DINA, M. S. **Effect of cooling technique of blast furnace slag on the termal behavior of solid cement bricks**. Journal of Cleaner Production, v. 79, p. 134-141, 2014.

ENGIOBRA. **Cimento de Aluminato de Cálcio**. Disponível em: <https://engiobra.com/cimento-de-aluminato-de-calcio/>. Acesso em: 17 jun. 2016.

FRANÇA, Sílvia Cristina Alves; LUZ, Adão Benvindo da; INFORÇATI, Paulo Francisco. **Diatomita. Rochas e Minerais industriais**. 2ª Edição. CETEM- Centro de Tecnologia Mineral. 2008. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1109/1/20.%20Diatomita%20%28Rev%20Adao%20e%20Silvia%20-%20fev%202008%29.pdf>. Acesso em: março 2018.

FREITAS, S. M. A. C. **Escória de Aciaria: Caminhos para uma Gestão Sustentável**. Dissertação (Doutorado). UFOP – UEMG, Ouro Preto, 2018.

GASPARINI, V. M.; GABRIEL W. V.; SILVA, C. A.; SILVA, I. A.; ALMEIDA, L.; SESHADRI, V.; JÚNIOR, E. S. A. **Uma análise via modelagem física dos efeitos de**

alguns parâmetros operacionais sobre a velocidade de mistura, de desgaseificação e taxa de projeção em conversores de sopro combinado. ABM – 41º Seminário Internacional – 2010.

GASPARINI, V. M. **Simulação a frio de um reator de sopro combinado.** REDEMAT. (Mestrado). Ouro Preto, MG, 2011.

HARTMANN, D. **Resinas alquídicas base água emulsionadas por inversão de fase.** Dissertação de Mestrado Profissional. UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Química. Programa de Pós-graduação em Química. Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/40497> Acesso em: março 2018.

IAB Instituto Aço Brasil – **A Siderurgia em Números 2013** – Pocket Yearbook - Disponível em: https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2019/07/relatorio_sustentabilidade_2013v3.pdf. Acesso em: maio/2023.

IAB Instituto Aço Brasil – **Relatório de Sustentabilidade 2014** - Disponível em: https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2019/08/Relatorio%20de%20Sustentabilidade_2014_web.pdf. Acesso em: maio/2023.

IAB Instituto Aço Brasil – **Dados do setor do Aço Brasileiro – 2020.** Disponível em: <https://www.acobrasil.org.br/relatoriodesustentabilidade/assets/pdf/PDF-2020-Relatorio-Aco-Brasil-Dados.pdf>. Acesso em: maio/2023.

IAB Instituto Aço Brasil – **A Siderurgia em Números 2020** – Pocket Yearbook - Disponível em: https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2020/04/Mini_anuario_2020_completo.pdf . Acesso em: maio/2023.

LUZ, A. B.; CAMPOS, A. R. *et al.* - caulim. IN: Rochas e Minerais Industriais no Brasil: usos e especificações. 2.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2008. p. 2559-294 - Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/1101>. Acesso em: maio/2023.

MAIA, B. T. *et al.* **Evolução do Desempenho da Lança de Sopro Através da Tecnologia Slagless.** 49º Seminário de Aciaria. ABM WEEK, 2018.

MORAES, J. M. **Caracterização tecnológica e mineralógica de caulins brasileiros.** In: Jornada de Iniciação Científica, 14., Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2006.

ODENTHAL, H. *et al.* **Advantageous numerical simulation of the converter blowing process.** Iron and Steel Technology, v. 4, n. 11, p. 71, 2007.

ÖZBAY, E.; ERDEMİR, M.; DURMUŞ, H. İ. **Utilization and efficiency of ground granulated blast furnace slag on concrete properties** – A review. Construction and Building Materials, v. 105, p. 423–434, fev. 2016.

PORTO, J. P. P.; ARANHA, I. B. **Caracterização Cristaloquímica Preliminar de Bentonitas Brasileiras**. Jornada de Iniciação Científica (JIC) e Jornada de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (JIDTI). CETEM- Centro de Tecnologia Mineral - CNPq, 2002. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/855/1/Joao.pdf> Acesso em: março 2017.

RABELLO, M. **Aditivação de polímeros**. São Paulo: Ed. Artliber; p. 115-129. 2011. REFRATIL – **Características Físico - Químicas Vermiculita expandida**. Disponível em: <https://www.refratil.com.br/wp-content/attachments/vermiculita-expandida/caracteristicas-fisico-quimicas-REFRATIL.pdf>. Acesso em: Junho/2023.

REOLOGIA DE FLUIDOS - Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1982920/mod_resource/content/1/REOLOGIA%20DE%20FLUIDOS%20-%20apostila.pdf. Acesso em: Junho/2023.

Rizzo, E. M. S. **Processo de fabricação de ferro-gusa em alto-forno**. Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração. São Paulo, 2009.

RIZZO, E. M. S. **Introdução aos Processos de Refino Primário dos Aços nos Convertedores a Oxigênio**. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais. São Paulo: Campo Belo, 2006.

RIZZO, E. M. S. **Introdução aos processos siderúrgicos**: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais. São Paulo: Campo Belo, 2005.

SATO, C. et al. **Performance improvements in bof at arcelor mittal João Monlevade by technology slagless®**. Lance, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/327040942>. Acesso em: junho - 2017.

SARDINHA, I. A. **Oxygen Supersonic Blowing Lances In Bof: Comparison of Skulls3® Technology And Outer Straight And Conical Tubes Of Steel And Copper**. Technical contribution to the 47^o Seminário de Aciaria – Internacional, part of the ABM Week, September 26th-30th, 2016, Rio de Janeiro, RJ, Brazil. Acesso em: junho – 2017.

SILVA, C. A.; **Aumento de Produtividade em Convertedores de Produção de Aço**, Projeto de Pesquisa, FAPEMIG, 2009.

SILVA, A. J. **Estudos dos Principais Processos Metalúrgicos de Aciaria (EOF, FEA, LD)**. Monografia. Divinópolis: Faculdade Pitágoras / Unidade Divinópolis, 2013. 54 p.

SILVA, B. M. C. *et al.* **Caracterização Tecnológica de Escórias de Aciaria**, p. 248-255. In: 47th Steelmaking Seminar - International, Rio de Janeiro, 2016. ISSN: 2594-5300, DOI 10.5151/1982-9345-27645; 47^o Seminário de Aciaria Internacional- ABM WEEK, 2016.

SILVA, J. C. **Compósito de Poliuretano de Mamona e Vermiculita para Isolação Térmica**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009. 80 p.

SILVEIRA, D. M. da. **Adsorção de Um Ácido Graxo Utilizado em Flotação por Vermiculita Hidrofóbica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005. 181p.

TEODORO, L.; PARABOCZ, C. R. B.; ROCHA, R. D. C. **Caracterização da Argila Vermiculita Expandida: Avaliação Dos Padrões Físico-Químicos e Mineralógicos para Aplicação como Adsorvente**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 25, p. e-12851, 2020.

THOMAZ, E. C. S. Notas de aula. **Escória de Alto Forno. Parte 1 – Fabricação**. IME, Instituto Militar de Engenharia. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/93311/mod_resource/content/1/prod%20a%C3%A7o%202013.pdf. Acesso em: junho 2017.

THOMPSON, J. L. *et al.* **Characterization of Silicate Sealers on Concrete**. Cement and Concrete Research, v. 27, n. 10, p. 1561-1567, 1997. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884697001671> Acesso em: março 2018.

TONNESEN, D. A *et al.* **Caracterização Mineralógica e Beneficiamento das Bentonitas a Região de Cubati e Pedra Lavrada**. Holos. UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

TRUNANO. **Silicato de Sódio Líquido CAS 1344-0908**. Disponível em: <https://www.nanotrunk.com/liquid-sodium-silicate-cas-1344-09-8-p01024p1.html> Acesso em: Julho/2023.

UGARTE, J. F. O. *et al.* **Comparação Estatística do Fator de Expansão de Concentrados de Vermiculita**. In: XX Encontro 70 Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, 2004, Florianópolis. vol. 1 p. 201-2008.

USP, Universidade São Paulo. E-disciplinas. Módulo Resource. **Fabricação do Aço**. 2013. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/93311/mod_resource/content/1/prod%20a%C3%A7o%202013.pdf. Acesso em: março 2018.

APÊNDICES

1. TABELA DE GRANULOMETRIA DAS PENEIRAS - NBR NM ISO 3310-1:1997:

Tabela de abertura (mm) das peneiras da TYLER (*Mesh* (malha)), utilizadas para a granulometria:

Peneira (Mesh)	Abertura (mm)	Peneira (Mesh)	Abertura (mm)	Peneira (Mesh)	Abertura (mm)
3,5	5,66	20	0,84	80	0,177
4	4,76	24	0,71	100	0,149
5	4	28	0,6	115	0,125
6	3,36	32	0,5	150	0,106
7	2,83	35	0,425	170	0,088
8	2,38	42	0,355	200	0,074
10	1,7	48	0,3	250	0,062
12	1,4	50		270	0,053
14	1,18	60	0,25	325	0,044
16	1	65	0,212	400	0,037
Peneira TYLER (Mesh)	Abertura (mm)	Peneira TYLER (Mesh)	Abertura (mm)	Peneira TYLER (Mesh)	Abertura (mm)
3,5	5,66	20	0,84	80	0,177
4	4,76	24	0,71	100	0,149
5	4	28	0,6	115	0,125
6	3,36	32	0,5	150	0,106
7	2,83	35	0,425	170	0,088
8	2,38	42	0,355	200	0,074
10	1,7	48	0,3	250	0,062
12	1,4	50		270	0,053
14	1,18	60	0,25	325	0,044
16	1	65	0,212	400	0,037

Fonte: ABNT (NBR NM ISO 3310-1:1997).

2. Normas ASTM (D1200:2014), ABNT (NBR 5849:1986)

ASTM (D1200:2014) Standard Test Method for Viscosity by Ford Viscosity Cup

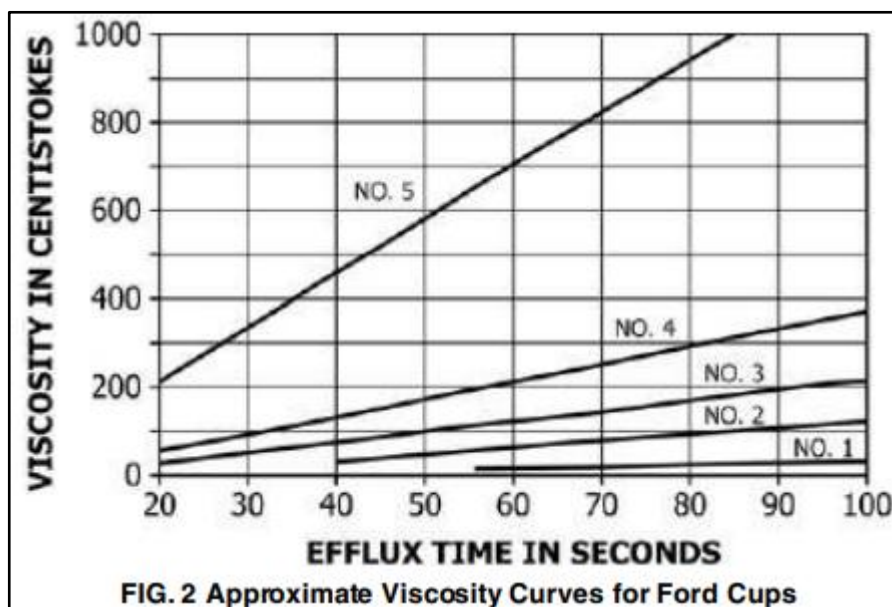
TABLE X1.1 Viscosity Standards Recommended for Calibrating Ford Viscosity Cups

Cup Number	Approximate Cup Viscosity Range, cSt	Standard Oil Designation	Approximate Designated Viscosity at 77°F (25°C), cSt ^A
1	10 to 35	S-10	20
2	25 to 120	S-20	35
3	49 to 220	S-60	120
4	70 to 370	S-60	120
5	200 to 1200	S-200	460

^A Exact viscosities are supplied with the oil samples.

Fonte: Normas ASTM (D1200:2014).

Tabela conversão tempo de escoamento em Viscosidade:



Fonte: Normas ASTM (D1200:2014).

Fórmula de conversão tempo de escoamento em Viscosidade:

X1.4 The following formulas are used to convert the time of flow in seconds, t , to kinematic viscosity V :

$$V_1 = 0.49 (t - 35.0)$$

$$V_2 = 1.44 (t - 18.0)$$

$$V_3 = 2.31 (t - 6.58)$$

$$V_4 = 3.85 (t - 4.49)$$

$$V_5 = 12.1 (t - 2.00)$$

where V_1 , V_2 , V_3 , V_4 , and V_5 = kinematic viscosity using orifice No. 1, 2, 3, 4, and 5, respectively, cSt.

Fonte: Normas ASTM (D1200:2014).