

DANIEL PONCE DE LEON

**MANUTENÇÃO DE REFRATÁRIOS EM CARROS TORPEDOS PARA
SIDERURGIA– PROCEDIMENTOS E MATERIAIS UTILIZADOS**

Monografia apresentada a Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para
graduação em Engenharia.

SÃO PAULO

2007

DANIEL PONCE DE LEON

**MANUTENÇÃO DE REFRATÁRIOS EM CARROS TORPEDOS PARA
SIDERURGIA– PROCEDIMENTOS E MATERIAIS UTILIZADOS**

Monografia apresentada a Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para
graduação em Engenharia.

Área de Concentração: Engenharia
Metalúrgica

Orientador: Prof. Dr. Samuel M. Toffoli

SÃO PAULO

2007

AGRADECIMENTOS

As equipes da Manutenção Centralizada de Refratários e do Centro de Pesquisas da Usiminas pelos ensinamentos e oportunidade de acesso a todas as informações e conhecimentos adquiridos ao longo desse quase 33 anos de operação e manutenção dos carros torpedos para elaboração do presente trabalho.

RESUMO

São apresentadas as várias práticas que envolvem a manutenção de refratários a operacionalização dos carros torpedos numa usina siderurgica integrada à coque que contribuem para a obtenção de exelentes resultados de desempenho, campanhas, disponibilidade operacional, recução de custo, menor imobilização de capital em equipamentos, etc, quando essas práticas são tratadas de uma forma integrada.

ABSTRACT

Here are presented the several practices of maintenance of the ladle cars in coke steel mills that contribute to reach great development of campaign results, operational availability, costs reduction, and less capital immobilization, when these practices are treated in an integrated way.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1.	Foto de um carro torpedo em operação	16
Figura 2.2.	Perfil interno do revestimento refratário do carro torpedo	16
Figura 2.3.	Esquema de demolição dos anéis junto às calotas (1ª etapa)	19
Figura 2.4.	Esquema de demolição da linha de escória (2ª etapa)	20
Figura 2.5.	Fotos da demolição dos 2 anéis junto às calotas e abertura de 400mm da linha de escória.....	20
Figura 2.6.	Fotos dos materiais refratários oriundos da demolição, após os giros de 360º.....	22
Figura 2.7.	Fotos do interior do carro torpedo após demolição	22
Figura 2.8.	Esquema de determinação dos centros das calotas	23
Figura 2.9.	Esquema de determinação do eixo longitudinal do carro torpedo.....	23
Figura 2.10.	Esquema de determinação dos pontos do eixo transversal	24
Figura 2.11.	Eixo longitudinal e transversal.....	24
Figura 2.12.	Assentamento do revestimento isolante de 16mm nas regiões do cilindro e cone.....	25
Figura 2.13.	Assentamento do revestimento silico-aluminoso de 76 mm da região do cilindro	26
Figura 2.14.	Assentamento do revestimento de alumina-carbeto de silício- carbono da região do cilindro.....	26
Figura 2.15.	Aplicação do concreto silico-aluminoso na região dos cones.....	27
Figura 2.16.	Assentamento do revestimento de alumina-carbeto de silício- carbono na parte inferior da região dos cones e calotas	28
Figura 2.17.	Assentamento do revestimento de alumina-carbeto de silício- carbono na parte superior da região dos cones e cilindros.....	29
Figura 2.18.	Aplicação do concretor refratário aluminoso de baixo cimento da região da boca	30
Figura 2.19.	Estação de aquecimento e lança de aquecimento	31
Figura 2.20.	Estação de resfriamento e processo de limpeza à quente	32
Figura 2.21.	Metodologia de medição do revestimento de alumina-carbeto de silício-carbono (revestimento novo)	35
Figura 2.22.	Inspeção visual à quente na área da lingotadeira	36

Figura 2.23. Eliminação de cascação na região da boca e zeragem do carro torpedo.....	37
Figura 2.24. Recomposição do revestimento monolítico da região da boca através do método de gunning à quente.....	37
Figura 2.25. Espalhamento, separação, seleção e empadiolamento do material a ser reciclado.	39
Figura 2.26. Local de guarda e material beneficiado pronto para aplicação.	39
Figura 2.27. Laboratório de ensaios de recebimento de materiais refratários.....	41
Figura 2.28. Laboratório de ensaios de avaliação do desenvolvimento de materiais refratários do Centro de Pesquisas	42
Figura 2.29. Difratoograma de raios-X de tijolo de Al_2O_3 -SiC-C (isento de Si e Al) .	44
Figura 2.30. Resultado de densidade de massa aparente e porosidade aparente .	45
Figura 2.31. Resultado de flexão à quente	46
Figura 2.32. Resultado de variação linear dimensional	47
Figura 2.33. Resultado de resistência ao choque térmico	49
Figura 2.34. Resultado de resistência ao choque térmico.....	50
Figura 2.35. Fotomicrografias de campos dos tijolos B-0 (a) e A-1 (b).....	51
Figura 2.36. Fotos de projeção pelo método de shotcrete e figura de retirada do corpo de prova.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Evolução da qualidade, campanhas e consumo de refratários no período de 1974 a 2007.....	14
Tabela 2.2 - Principais propriedades dos materiais refratários do revestimento do carro torpedo	18
Tabela 2.3 - Geração de valor período 2002 a 2006	39
Tabela 2.4 - Resultado de ensaio de oxidação	47
Tabela 2.5 - Resultado do ensaio de expansão térmica.....	48
Tabela 2.6 - Distribuição dos carros torpedos no ciclo de operação	56

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. DESENVOLVIMENTO.....	12
2.1 Materiais Refratários – Conceito, Classificação e Tipos	12
2.2 Evolução das Campanhas e da Qualidade dos Refratários.....	13
2.3 Análise do Projeto Atual.....	15
2.4 Demolição.....	19
2.4.1 Demolição do Revestimento Refratário de Alumina-Carbeto de Silício- Carbono no Final da Campanha	19
2.4.1.1 Demolição dos Anéis Junto às Calotas	19
2.4.1.2 Demolição da Linha de Escória nas Regiões dos Cones e Cilindro.....	20
2.4.1.3 Demolição do Revestimento Refratário da Região da Boca.....	21
2.4.1.4 Retirada dos Refratários de Alumina-Carbeto de Silício-Carbono do Cilindro e Cones	21
2.4.1.5 Demolição do Revestimento Refratário Completo das Calotas.....	22
2.5 Montagem do Revestimento Refratário	23
2.5.1 Marcação	23
2.5.2 Assentamento.....	25
2.5.2.1 Assentamento do Revestimento Isolante de 16 mm	25
2.5.2.2 Assentamento do revestimento Silício - Aluminoso de 76 mm (região do Cilindro) e 32 mm (Região dos Cones).....	25
2.5.2.3 Assentamento do Revestimento Alumina - Carbeto de Silício - Carbono da Região do Cilindro	26
2.5.2.4 Aplicação do Concreto Silício-Aluminoso na Região Inferior dos Cones.....	27
2.5.2.5 Assentamento do Revestimento de Alumina-Carbeto de Silício-Carbono da Região Inferior dos Cones e Calotas	27
2.5.2.6 Assentamento dos Revestimentos de Alumina-Carbeto de Silício-Carbono da Região Superior dos Cones / Cilindro, Isolante de 16 mm, Silício-Aluminoso de 32 mm e Concreto Silício-Aluminoso de 72 mm	28
2.5.2.7 Aplicação do Concreto Refratário Aluminoso de Baixo Cimento da Região da Boca.....	29
2.6 Métodos de Aquecimento e Arrefecimento	30

2.6.1Método de Aquecimento	30
2.6.2Método de Arrefecimento.....	31
2.7 Programa de Controle para Retirada de Carros Torpedos de Operação.....	32
2.8 Ciclo de Manutenção, Tipos de Reparos e Custos.....	33
2.9 Sistema de Avaliação da Velocidade de Desgaste.....	34
2.10 Reparos Durante a Operação Visando o Aumento da Tonelagem Transportada	36
2.11 Programa de Reciclagem de Refratários após Uso.....	37
2.12 Análise do Efetivo da Manutenção Terceirizada de Carros Torpedos	40
2.13 Análise de Recebimento dos Materiais Refratários para Revestimentos e Reparos	41
2.14 Desenvolvimento de Materiais Refratários para Revestimentos e Reparos	42
2.15 Avaliação de Tijolos Refratários para Revestimento ou Reparo.....	43
2.15.1 Difractometria de Raios-X.....	43
2.15.2 Densidade de Massa Aparente e Porosidade Aparente	44
2.15.3 Resistência à Flexão á Quente	45
2.15.4 Variação Linear Dimensional	46
2.15.5 Resistência a Oxidação	47
2.15.6 Expansão Térmica	48
2.15.7 Choque Térmico.....	48
2.15.8 Ataque por Escória.....	49
2.15.9 Análise Ceramográfica	50
2.16 Avaliação de Concretos Refratários para Reparos pelo Método de Shotcrete	51
2.17 Dimensionamento de Carros Torpedos para um Ritmo de Produção de 4.800.000 t de aço	53
2.17.1 Distribuição dos Carros Torpedos no Ciclo Operacional Normalizado.....	56
3. CONCLUSÕES	57
4. ANEXOS.....	58

1 INTRODUÇÃO

Carros torpedos são equipamentos siderúrgicos utilizados para o transporte do gusa líquido entre os altos fornos e as aciarias, podendo ser também utilizados na consecução de processos de pré-tratamento de dessulfuração, dessiliciação ou desfosforação, caso o ciclo operacional assim o determine.

São revestidos com materiais refratários de alta resistência à corrosão química pelo metal líquido e escórias. Geralmente nas usinas siderúrgicas de grande porte utiliza-se refratários da classe alumina-carbeto de silício-carbono ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiC-C}$) que apresentam excelentes performances com baixo nível de reparos intermediários durante suas campanhas.

O presente trabalho irá abordar a prática de manutenção de refratários empregado no revestimento interno de carros torpedos e a operacionalidade adotada numa usina siderúrgica integrada à coque com capacidade de produção anual de 4.800.000 toneladas de aço líquido, localizada em Ipatinga, no estado de Minas Gerais. Essa usina possui apenas 28 carros torpedos com capacidade nominal de 250 toneladas cada.

O trabalho é o resultado de uma compilação de informações técnicas reunidas pelo autor, baseadas principalmente em experiências pessoais (ao longo dos estágios junto as empresa Usiminas S/A e Calorisol Engenharia S/A) apoiado em informações e procedimentos internos da empresa estudada e ainda complementada em artigos da literatura.

Este trabalho discutirá os seguintes temas:

- Materiais refratários – conceito, classificação e tipos;
- Evolução e projeto atual;
- Demolição do revestimento refratário;
- Montagem do revestimento refratário;
- Método de aquecimento e arrefecimento;
- Programas de controle para retirada e entrada em operação dos carros torpedos;
- Ciclo de manutenção e tipos de reparos ao longo da campanha (custos de materiais e mão-de-obra);

- Sistema de medição para avaliação da velocidade de desgaste e monitoramento (segurança operacional);
- Reparos em operação e ações visando o aumento da tonelagem transportada durante a campanha;
- Programa de reciclagem de materiais refratários após uso;
- Análise do efetivo de mão-de-obra utilizado e interação entre as equipes envolvidas da manutenção terceirizada (refrataristas, mecânicos, controladores, etc.);
- Análise de recebimento dos materiais refratários para revestimento e reparos;
- Desenvolvimento de materiais refratários para revestimentos e reparos;
- Desenvolvimento de métodos de avaliação e testes de materiais refratários em Centros de Pesquisas e Universidades;
- Dimensionamento do quantitativo de carros torpedos necessários à operação de uma usina de capacidade de 4.800.000 toneladas de aço líquido / ano.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 *Materiais Refratários – Conceito, Classificação e Tipos*

Material sólido, policristalino e/ou vítreo, de alta resistência a elevadas temperaturas. Normalmente, é constituído de óxidos e suas combinações, não-óxidos e pode conter fases metálicas e intermetálicas. Em geral, suas propriedades são governadas pelas suas condições e/ou características de processamento, natureza das suas fases e sua distribuição espacial. ^[1]

Os refratários são empregados no revestimento de equipamentos industriais para suportar altas temperaturas sob condições específicas de processo e de operação, que normalmente incluem solicitações de natureza:

- (i) térmica - elevadas temperaturas, gradiente de temperatura, variações bruscas de temperatura;
- (ii) química - potenciais químicos, alterações de potenciais químicos (líquidos de escória e metais, gases, sólidos), alterações de pressões parciais de gases (CO/CO₂) e de composição de escórias;
- (iii) mecânica - impacto de cargas sólidas e/ou líquidas, torções, vibrações, cavitações, compressão e flexão.

As principais funções de materiais refratários são:

- (i) manter, armazenar e ceder calor (isolamento térmico, trocador de calor, etc);
- (ii) conduzir calor (fornos de coqueria);
- (iii) suportar cargas sólidas e/ou líquidas estáticas ou dinâmicas a elevadas temperaturas (soleiras e paredes);
- (iv) conter fluidos (cadinhos, altos fornos e soleiras);
- (v) excluir fluidos (degaseificação).

De uma forma geral, os refratários podem ser classificados sob diferentes enfoques. Por exemplo, quanto a matéria-prima ou componente químico predominante podem ser denominados refratários sílico-aluminosos, sílica, aluminosos, mulita, cromíticos, carbetos de silício, grafita, carbono, zircônia, zirconita, espinélio, magnésica-carbono, alumina-carbono, nitretos, etc. Já sob o ponto de vista do formato, são considerados conformados (materiais que apresentam formas

geométricas definidas como por exemplo: tijolos, blocos de queimadores, tampões de painéis, etc.) ou não-conformados (materiais fornecidos sob a forma de granulados como por exemplo: concretos, argamassas, massas plásticas, etc.). Além dessas, há outras classificações ou divisões que visam agrupá-los de acordo com as suas características ou aplicação. ^[2]

O presente trabalho irá ater-se somente aos tipos de materiais refratários utilizados na montagem do revestimento e nos reparos intermediários conforme a seguir:

- Tijolos de alumina-carbeto de silício-carbono (conformado);
- Tijolo silico aluminosos (conformado);
- Concreto refratário aluminoso de pega hidráulica (não-conformado);
- Concreto refratário silico aluminoso de pega hidráulica (não-conformado);
- Argamassa refratária silico aluminosa (não-conformado);
- Argamassa refratário alumina carbeto de silico carbono (não-conformado).

2.2 *Evolução das Campanhas e da Qualidade dos Refratários*

A utilização de carros torpedos na siderurgia nacional surgiu a partir do ano de 1973, sendo que especificamente nessa usina integrada a coque, a entrada em operação ocorreu a partir de 22/12/74 com a colocação em marcha de um alto forno, considerado de grande porte (volume interno > 2.700 m³) com capacidade de produção na época de aproximadamente 5.500 toneladas/dia.

A evolução da qualidade, duração das campanhas e o consumo específicos dos materiais refratários utilizados na montagem dos carros torpedos no período de 1974 até os dias atuais, pode ser resumido a tabela a seguir.

Tabela 2.1 - Evolução da qualidade, campanhas e consumo de refratários no período de 1974 a 2007 ^[3]

Qualidade	Campanhas Médias (toneladas transportadas)	Consumo (kg. Refratário / t de gusa transportada)	Ano de Implementação
1- Silico aluminoso de 1ª	70.000	1,19	1974
2- Alumina de 70%	120.000	1,10	1976
3- Alumina de 70% (impregnado)	180.000	0,90	1979
4- Alumina de 80% (impregnado)	240.000	0,50	1981
5- Alumina-carbeto de silício-carbono (1ª geração)	410.000	0,25	1985
6- Alumina-carbeto de silício-carbono (2ª geração)	510.000	0,22	1989
7- Alumina-carbeto de silício-carbono (3ª geração)	605.000	0,26	1999
8- Alumina-carbeto de silício-carbono (4ª geração)	450.000	0,30	2002
9- Alumina-carbeto de silício-carbono (5ª geração ⇒ atual)	400.000	0,36	2005

Considerando-se os dados coletados nos relatórios de registros de reparos utilizados para a montagem da Tabela 2.1, percebe-se que houve enobrecimento da qualidade dos materiais refratários empregados, saindo da qualidade dos silico-aluminosos de 1ª, para materiais aluminosos, com e sem impregnação de carbono e posteriormente para a geração dos materiais de alumina - carbeto de silício - carbono (5 gerações) que apresentam excelentes resistências às escórias e ao metal líquido. Nas duas últimas gerações de materiais ocorreram ajustes de composição química e melhoria das propriedades mecânicas atribuídas em grande parte à introdução de prensas de grandes capacidades, com elevado nível de automação pelos fabricante de materiais refratários.

Em relação às campanhas e aos consumos ocorreram evoluções significativas até 7 anos atrás, quando a partir da 4ª geração de materiais refratários de alumina-carbeto de silício-carbono (ano de 2002) ocorreram perdas em relação

aos números anteriormente obtidos, atribuídas à mudanças do processo operacional (produção de gusa com temperaturas mais elevadas, teores de silício e fósforos cada vez menores) em função do novo mix de aços produzidos pela empresa. Com a adoção de novas técnicas de manutenção de refratários foi possível a obtenção de um expressivo aumento da disponibilidade operacional, sendo possível o aumento da produção em até 37% (passando-se de uma produção de 3.500.000 para 4.800.000 toneladas de aço líquido anual) sem aquisição de novas unidades de carros torpedos para o transporte do incremento de produção, ou seja, o número de 28 carros torpedos foi mantido o mesmo.

2.3 *Análise do Projeto Atual*

O projeto mecânico do carro torpedo é composto por uma região central denominada cilindro, dotada de uma abertura em sua parte superior (região da boca) por onde são feitos os carregamentos e descarregamentos de metal líquido e dois troncos de cones cujas extremidades são apoiadas junto a um sistema mecânico que possibilita giros completos de 360° durante o processo operacional em locais pré-estabelecidos. Esse tipo de formato é popularmente conhecido como modelo tipo charuto. Nas figuras 2.1 e 2.2 são mostrados o formato externo do carro torpedo e o perfil interno do revestimento refratário do mesmo.

Para melhor entendimento, o projeto do revestimento refratário do carro torpedo em análise foi subdividido em 6 regiões distintas a saber:

- Região do cilindro (partes inferior e superior);
- Região dos cones (partes inferior e superior);
- Região das calotas;
- Região da zona de impacto de gusa;
- Região da boca;
- Região das linhas de metal e escória.



Figura 2.1. Foto de um carro torpedo em operação

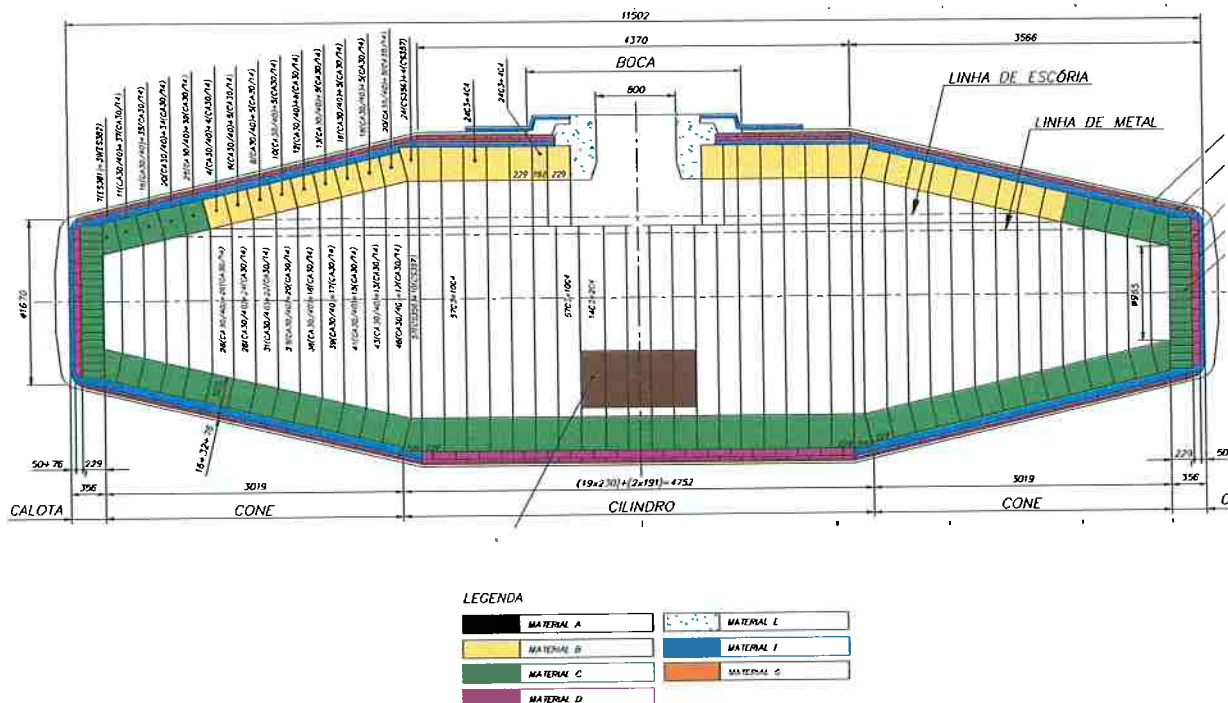


Figura 2.2. Perfil interno do revestimento refratário do carro torpedo ^[4]

Junto à carcaça metálica são utilizados uma camada de tijolo isolante de alta resistência à compressão, tijolos e concreto refratário silico-aluminoso de espessuras variadas com o objetivo de reduzir as isotermas das temperaturas que chegam até a mesma.

O revestimento refratário que entra em contato direto com o metal líquido e as escórias, apresenta espessuras variadas de 229 mm (região das calotas), 305 mm (região dos cones), 343 mm (região do cilindro) com a mesma qualidade (alumina-carbeto de silício-carbono) e no revestimento da região da boca é utilizado um concreto refratário aluminoso de baixo cimento (80% de Al_2O_3). Na tabela 2.2 são mostradas as principais propriedades desses materiais.

Os mecanismos de desgastes predominantes no revestimento refratário dos carros torpedos estão relacionados a:

- Erosão (regiões das zonas de impacto partes inferiores / superiores do cilindro, cones e boca de carregamento);
- Corrosão química pelo gusa / escórias e pré-tratamento (todas as regiões de forma generalizada);
- Oxidação (parte superior das regiões dos cones e cilindro devido ficarem acima do nível máximo de carregamento);
- Impacto (região dos painéis, lados direito / esquerdo e junções entre cilindro / boca pelo uso de máquinas com rompedores hidráulicos para limpeza à quente).

Os anexos 1 e 2 mostram um desenho em perspectiva e o perfil completo do revestimento refratário com os materiais utilizados em cada uma das regiões do carro torpedo, e os anexos de 3 a 11 são mostrados as fichas técnicas dos mesmos.

Tabela 2.2 - Principais propriedades dos materiais refratários do revestimento do carro torpedado [4]

Propriedades/Tipo	Tijolo A	Tijolo B	Tijolo C	Tijolo D	Concreto E	Concreto F	Tijolo H	Argamassa SA1	Argamassa Aluminosa
Al ₂ O ₃	73,00/77,00	85,00/88,00	83,50/87,50	42,50/46,50	≥ 80,00	≥ 43,00	6,80	≥ 40,00	95,00/98,00
SiO ₂	≥ 6,00	≥ 6,00	≥ 8,00	46,50/48,50	≤ 12,30	≥ 47,00	36,00	≤ 55,00	≤ 3,80
SiC	≥ 15,00	≥ 6,00	≥ 5,00						
C (total)	12,00/15,00	9,00/12,50	10,00/13,00						
Composição Química (%)									
TiO ₂				≤ 3,15	≤ 3,00	≤ 3,00		≤ 3,50	
Fe ₂ O ₃				≤ 1,60	≤ 2,00	≤ 2,5	8,70	≤ 2,50	≤ 0,20
Na ₂ O+				≤ 1,00				≤ 4,50	≤ 0,36
K ₂ O									
CaO					≤ 3,00	≤ 5,00			≤ 0,15
MgO							24,60		
Densidade de massa aparente (gr/cm ³)	2,92/3,02	3,07/3,21	3,05/3,17	2,27/2,40	≥ 2,70	≥ 2,10	1,20		
Porosidade aparente (%)									
Resistência a Compressão à temperatura ambiente (Mpa)	6,50/9,50	5,00/10,00	4,00/8,00	13,00/18,00			53,30		
Resistência à flexão a quente 1400°C x 30 min (Mpa)	50/55	40/80	40/85	35/65	≥ 40	≥ 15,00	15,1		
Temperatura máxima de uso (°C)	≥ 12	≥ 10	≥ 8						
Condutibilidade térmica (w/mk)									
Variação linear permanente a (%)									
Força ligante após 1400°C x 5 hs (Mpa)								≥ 5,0	1,0/4,5
Local de utilização	Zona de Impacto	Linha de escória	Região de metal e teto	isolamento	Boca	Isolamento	Isolamento	Assentamento isolamento	Assentamento revestimento de trabalho
Classificação	Alumina-carbeto de silício-carbono			Sílico-aluminoso	Aluminoso de baixo-cimento	Sílico-aluminoso	Isolante de alta-resistência	Sílico-aluminoso	Aluminoso

2.4 Demolição ^[5]

2.4.1 Demolição do Revestimento Refratário de Alumina-Carbeto de Silício-Carbono no Final da Campanha

Após a fase de arrefecimento, o interior do carro torpedo passa por um processo de limpeza com a remoção de escórias, cascões e resíduos de carbureto de cálcio visando deixar a superfície do revestimento refratário em condições de se efetuar uma medição precisa do revestimento remanescente para a determinação ou não do encerramento da campanha. A condição adotada para definir o encerramento da campanha do carro torpedo é a obtenção de um perfil remanescente com medidas iguais ou inferiores a 50 mm nos tijolos de alumina-carbeto de silício-carbono em mais de 1/3 do revestimento total instalado ^[5]. Quando essa situação é verificada determina-se a demolição do revestimento refratário remanescente, que basicamente é executada em 5 etapas a seguir.

2.4.1.1 Demolição dos Anéis Junto às Calotas

Com o carro torpedo basculado a uma posição de aproximadamente 110° em relação à sua posição de operação (vertical) ou seja a linha de escória coincidindo com os pés dos refrataristas, é executada a demolição de 2 anéis completos do revestimento de alumina-carbeto de silício-carbono próximo às calotas, utilizando-se marteletes pneumáticos, promovendo-se assim a completa separação da região dos cones das calotas conforme figura 2.3.

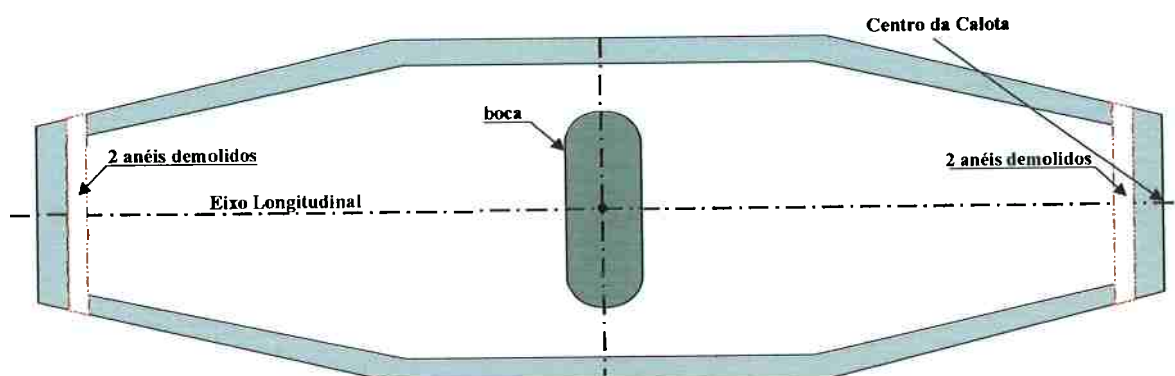


Figura 2.3. Esquema de demolição dos anéis junto às calotas (1ª etapa)

2.4.1.2 Demolição da Linha de Escória nas Regiões dos Cones e Cilindro

Nessa etapa procede-se à abertura de aproximadamente 400 mm na região da linha de escória que foi posicionada para a condição de piso para os refrataristas, do anti-penúltimo anel dos cones (proximidade das calotas) até o terceiro anel do cilindro em relação ao eixo transversal do carro torpedo, sendo obrigatório por questões de segurança executar essa atividade no sentido dos cones → cilindro, deixando-se a abertura de 400 mm limpa (isenta de refratários).

Essa operação é executada simultaneamente em cada um dos dois lados do carro torpedo, sendo mantido intacto os 6 anéis centrais da região do cilindro (3 anéis de cada lado, adjacentes ao eixo transversal) sendo essa atividade realizada no pátio da Oficina de Manutenção Centralizada de Refratários. Nas figuras 2.4 e 2.5 a seguir é mostrado essa etapa.

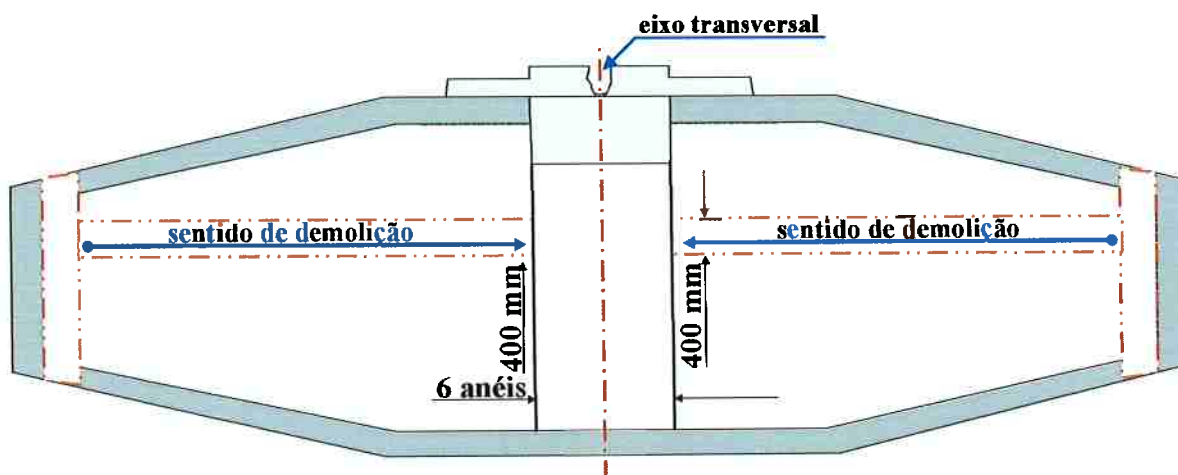


Figura 2.4. Esquema de demolição da linha de escória (2ª etapa)

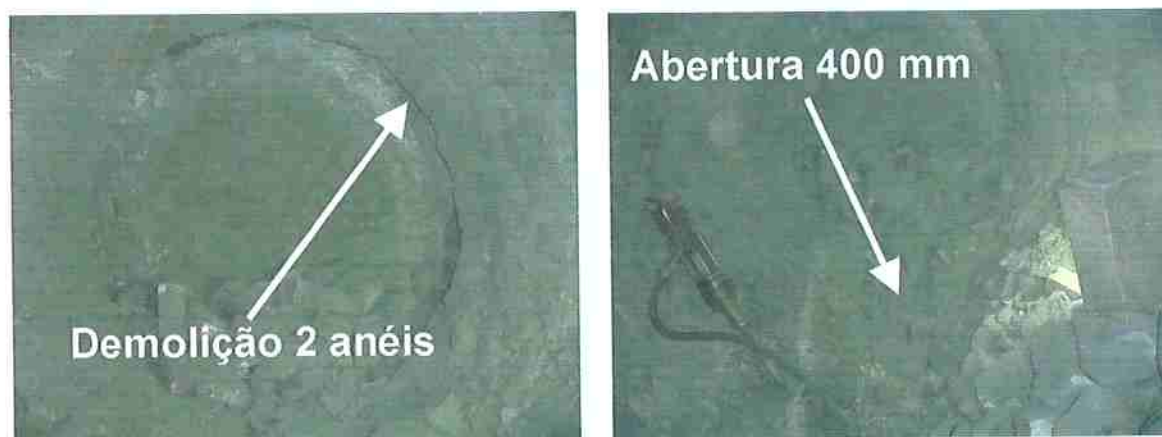


Figura 2.5. Fotos da demolição dos 2 anéis junto às calotas e abertura de 400mm da linha de escória

2.4.1.3 Demolição do Revestimento Refratário da Região da Boca

Após a conclusão da demolição da faixa de 400 mm na linha de escória excetuando-se os 6 anéis da região central do cilindro, o carro torpedo é basculado para a posição normal e deslocado para a área de Reparos á Quente da Lingotadeira que possui uma máquina móvel de grande porte dotada de um rompedor hidráulico. Nessa área o carro torpedo é novamente basculado agora à uma posição de 90° em relação a sua posição de operação e procede-se a demolição total do revestimento monolítico da região da boca e anéis adjacentes a mesma, limitado ao alcance do martelo pneumático do equipamento. Após essa atividade o carro torpedo é novamente basculado a sua posição de operação e retorna a Oficina de Manutenção Centralizada de Refratários, agora com o revestimento refratário de alumina-carbeto de silício-carbono das regiões dos cones e cilindro totalmente livres.

2.4.1.4 Retirada dos Refratários de Alumina-Carbeto de Silício-Carbono do Cilindro e Cones

Na área da fossa de basculamento de carros torpedos da oficina o sistema eletromecânico do carro torpedo é acionado, promovendo de 8 a 10 movimentos circulares completos de 360° que provoca a completa queda do revestimento refratário das regiões dos cones/cilindros. Na figura 2.6 a seguir é mostrado essa etapa.



Figura 2.6. Fotos dos materiais refratários oriundos da demolição, após os giros de 360°

2.4.1.5 Demolição do Revestimento Refratário Completo das Calotas

Com o carro torpedo posicionado na mesma condição descrita no item 2.4.1 procede-se a demolição simultânea do revestimento refratário das duas calotas que com o auxílio de marteletes pneumáticos manuais de pequeno porte e a completa limpeza de pós e resíduos aderidos a carcaça ou ao revestimento permanente. Com o fim dessa atividade considera-se concluída a fase de demolição do revestimento refratário de alumina-carbeto de silício-carbono, estando o carro disponibilizado para a montagem do novo revestimento. Na figura 2.7 a seguir é mostrado essa etapa.



Figura 2.7. Fotos do interior do carro torpedo após demolição

2.5 Montagem do Revestimento Refratário

2.5.1 Marcação

Com o carro torpedo posicionado na plataforma do galpão de revestimento, e, a boca de carregamento nivelada para cima estabelece-se a condição para o início da marcação dos pontos / eixos que irão nortear toda a fase de assentamento do revestimento refratário. O líder de grupo juntamente com os refrataristas, já no interior do carro torpedo seguem as seguintes etapas:

- a) Determinação do centro das duas calotas, dividindo-as em 4 partes, conforme figura 2.8 a seguir;

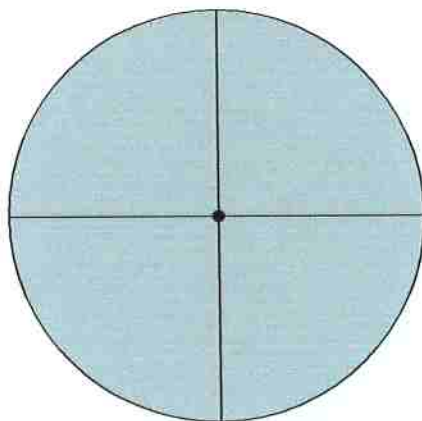


Figura 2.8. Esquema de determinação dos centros das calotas

- b) Posicionar e fixar um fio de aço fino e resistente unindo os centros das duas calotas diametralmente opostas determinando-se assim o eixo longitudinal do carro torpedo, e, com o auxílio de um prumo de centro transferem esse eixo para o fundo do carro, conforme figura 2.9 a seguir;

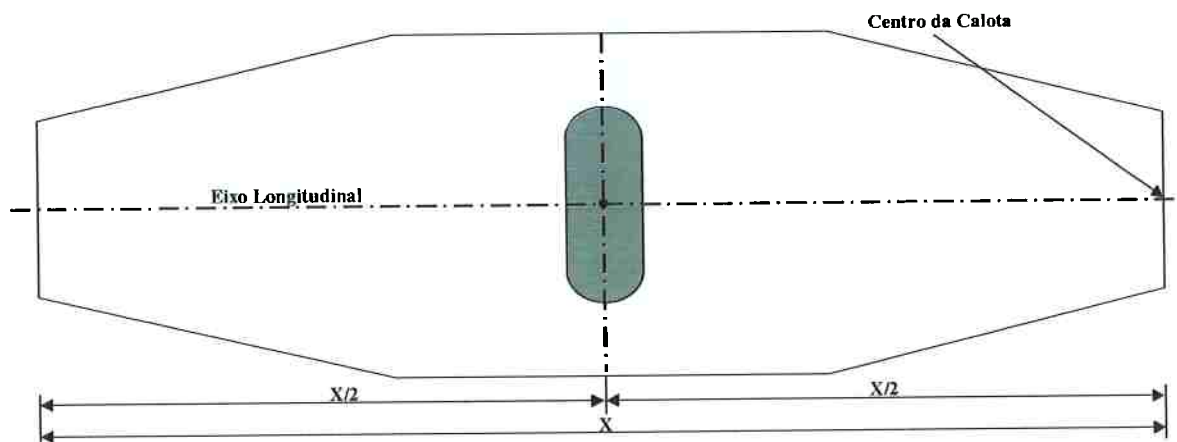


Figura 2.9. Esquema de determinação do eixo longitudinal do carro torpedo

c) Bascular o carro 120° nos sentidos horário e anti-horário (uma etapa de cada vez), determinando-se os pontos 1 e 2 na região das bicas de descarga com o auxílio do prumo de centro a partir do ponto localizado na metade do eixo longitudinal. Retornar o carro torpedo a posição com a boca de carregamento nivelada e a partir dos pontos 0, 1 e 2 com o auxílio do prumo de centro determinam-se os pontos 3, 4 e 5 que unidos irão formar o eixo transversal.

Os pontos de centros das calotas e os pontos 1 e 2 serão sempre utilizados como referências durante toda a montagem dos revestimentos silico aluminosos e alumina - carbetto de silício - carbono. Nas figuras 2.10 e 2.11a seguir são mostradas esses pontos e os eixos longitudinal / transversal que estão linkados com os eixos dos desenhos de montagem de cada fornecedor específico. ^[5]

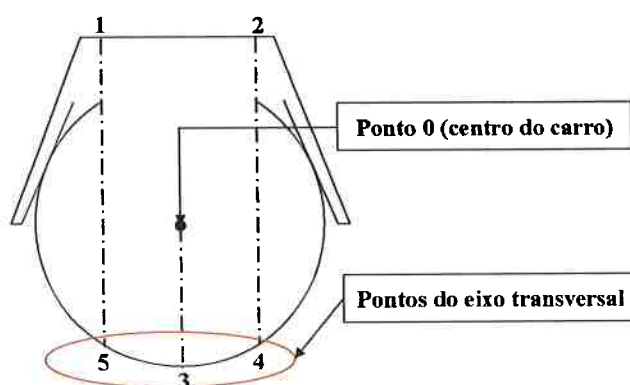


Figura 2.10. Esquema de determinação dos pontos do eixo transversal

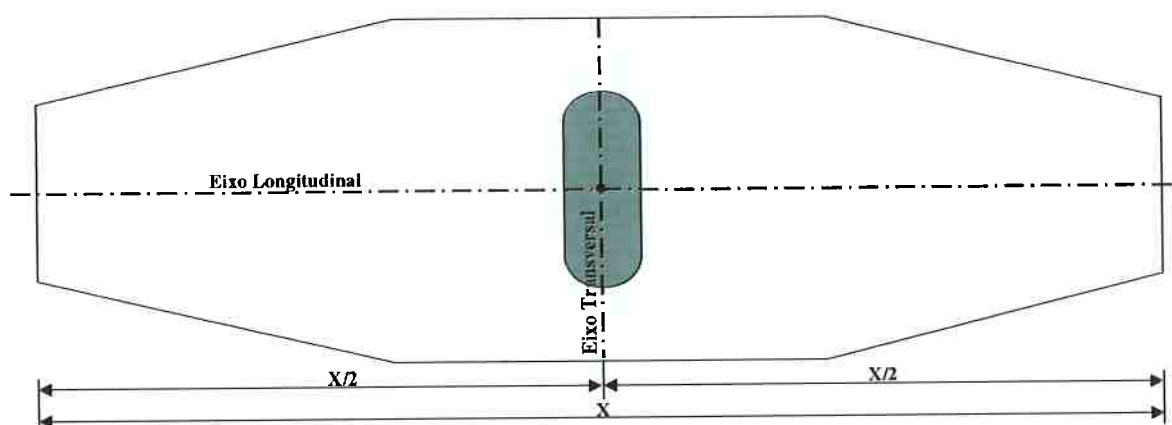


Figura 2.11. Eixo longitudinal e transversal

2.5.2 Assentamento ^[5]

2.5.2.1 Assentamento do Revestimento Isolante de 16 mm

Conforme pode ser observado no anexo 2, as projeções dos eixos longitudinal e transversal do revestimento refratário marcados na carcaça, coincidem com os da primeira placa isolante a ser acentada, sendo que a partir daí desenvolve-se todo o assentamento, completando-se a região do cilindro e posteriormente a região dos cones simultaneamente. Na figura 2.12 a seguir é mostrado essa etapa



Figura 2.12. Assentamento do revestimento isolante de 16mm nas regiões do cilindro e cone

2.5.2.2 Assentamento do revestimento Silico - Aluminoso de 76 mm (região do Cilindro) e 32 mm (Região dos Cones)

Conforme pode ser observado no anexo 2, as projeções dos eixos longitudinal e transversal do revestimento refratário marcados na carcaça coincidem com as faces laterais dos tijolos refratários de espessura de 76mm e a partir daí desenvolve-se todo o assentamento completando-se a região do cilindro. Na região dos cones a espessura dos tijolos refratários utilizados é de 32 mm, e, tanto na região dos cones quanto na do cilindro é feita uma amarração de modo a promover a não coincidência de juntas retas entre as duas camadas dos revestimentos (isolante e silico aluminoso). Na figura 2.13 a seguir é mostrado essa etapa.

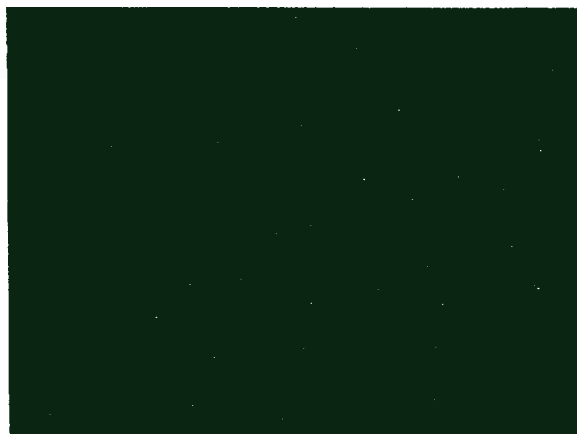


Figura 2.13. Assentamento do revestimento silico-aluminoso de 76 mm da região do cilindro

2.5.2.3 Assentamento do Revestimento Alumina - Carbetto de Silico - Carbono da Região do Cilindro

Conforme pode ser observado no anexo 2, cortes longitudinal, transversal A-A e B-B, as projeções dos eixos longitudinal e transversal do revestimento refratário coincidem com os mesmos eixos dos tijolos de espessura de 343 mm, sendo essas peças assentadas primeiramente, e, a partir daí desenvolve-se todo o assentamento da região do cilindro conforme combinação das peças de formato cunha, determinadas detalhadamente no desenho de montagem de cada fornecedor específico. Na figura 2.14 a seguir é mostrado essa etapa.



Figura 2.14. Assentamento do revestimento de alumina-carbetto de silício-carbono da região do cilindro

2.5.2.4 Aplicação do Concreto Silico-Aluminoso na Região Inferior dos Cones

Nesta etapa é feita a aplicação do concreto refratário silico-aluminoso simultaneamente na região dos cones com uma espessura de aproximadamente de 72 mm até uma altura total de 210° em relação a circunferência da região. A utilização desse revestimento tem por objetivo corrigir as deformações de carcaça, melhorar o sistema de isolamento e absorver pequenas variações dimensionais dos tijolos de alumina-carbeto de silício-carbono, caso existam. Na figura 2.15 a seguir é mostrado essa etapa.

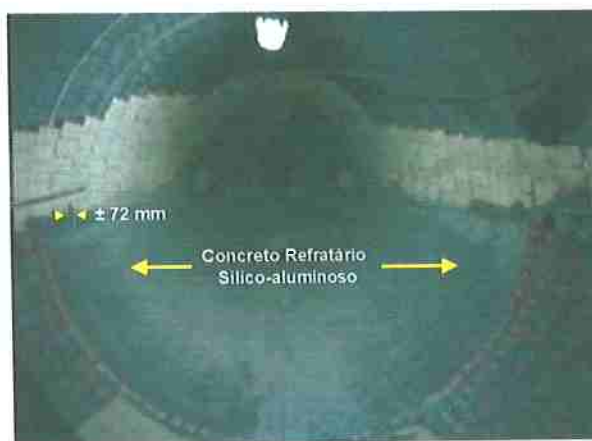


Figura 2.15. Aplicação do concreto silico-aluminoso na região dos cones

2.5.2.5 Assentamento do Revestimento de Alumina-Carbeto de Silício-Carbono da Região Inferior dos Cones e Calotas

Conforme pode ser observado no anexo 2, cortes longitudinal, transversal B-B e C-C ocorre alternância no assentamento de cada um dos anéis dos tijolos, que compõem o revestimento dos cones, ora coincidindo com a projeção do eixo longitudinal do revestimento refratário e ora coincidindo com a junta de argamassa entre as peças. Esse procedimento tem por objetivo promover a não coincidência de juntas diretas entre os tijolos dos anéis. O desenvolvimento de todo o assentamento dessa região é também conforme combinação das peças de formato trapezoidal determinadas para cada anel no desenho de montagem de cada fornecedor específico.

Na região das calotas a composição total do revestimento refratário é de aproximadamente 408 mm, sendo 72 mm de concreto refratário sílico aluminoso + 114mm de tijolos sílico aluminosos + 229 mm de tijolos alumina-carbeto de silício-carbono, que são montados imediatamente após a conclusão do último anel da parte inferior da região dos cones. Na figura 2.16 a seguir é mostrado essa etapa.



Figura 2.16. Assentamento do revestimento de alumina-carbeto de silício-carbono na parte inferior da região dos cones e calotas

2.5.2.6 Assentamento dos Revestimentos de Alumina-Carbeto de Silício-Carbono da Região Superior dos Cones / Cilindro, Isolante de 16 mm, Sílico-Aluminoso de 32 mm e Concreto Sílico-Aluminoso de 72 mm

Para o assentamento da parte superior das regiões dos cones e cilindro é necessário a instalação de um andaime de forma a possibilitar uma posição ergonômica e segura, além da utilização de cambotas de madeira ou metálicas para o fechamento da parte superior dos anéis de cada uma das fiadas que compõem o revestimento de trabalho do carro torpedo.

A sequência usual de trabalho é adiantar o revestimento isolante de 16 mm junto à carcaça metálica, em seguida o sílico-aluminoso de 32 mm, colocar a cambota fazer a montagem / fechamento de tijolos de alumina-carbeto de silício-carbono e aplicar o concreto refratário sílico-aluminoso no espaço vazio (aproximadamente 72 mm) entre os revestimentos sílico-aluminoso de 32 mm e o alumina-carbeto de silício-carbono de 305 mm. Essa sequência é executada simultaneamente nos 2 lados dos cones, passando pelo cilindro até o fechamento do último anel que fica localizado ao redor das laterais da boca de carregamento /

descarregamento. Ao findar essa etapa considera-se concluído o assentamento dos tijolos refratários que compõem o revestimento, sendo retiradas as cambotas dos lados direito/esquerdo da região do cilindro e feita a montagem da forma para a instalação do revestimento não-conformado da região da boca. Na figura 2.17 a seguir é mostrado essa etapa.

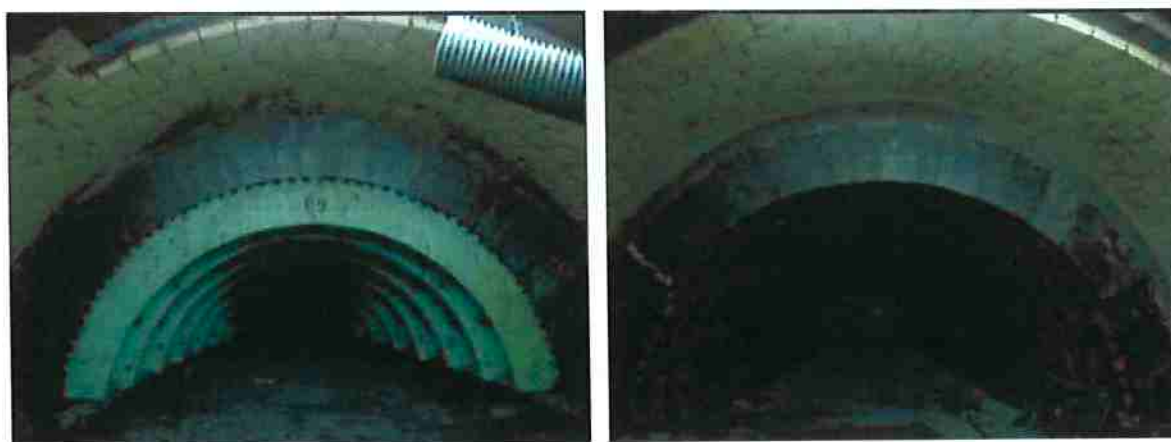


Figura 2.17. Assentamento do revestimento de alumina-carbeto de silício-carbono na parte superior da região dos cones e cilindros

2.5.2.7 Aplicação do Concreto Refratário Aluminoso de Baixo Cimento da Região da Boca

Nesta fase com a forma já montada na posição / formato interno da boca é aplicado o concreto refratário aluminoso de baixo cimento utilizando-se um vibrador de 17.000 VPM visando a obtenção de um revestimento isento de vazios e alta resistência a erosão pelo metal líquido e escórias. A forma é retirada 24 hs após o término da concretagem e a partir daí o carro torpedo está disponível para iniciar a secagem da região da boca e após efetuar a curva de aquecimento do revestimento refratário. Na figura 2.18 a seguir é mostrado essa etapa.



Figura 2.18. Aplicação do concretor refratário aluminoso de baixo cimento da região da boca

2.6 Métodos de Aquecimento e Arrefecimento

2.6.1 Método de Aquecimento

Estações de aquecimento como próprio nome diz, são locais onde são realizados os aquecimentos de forma controlada dos carros torpedos a partir da temperatura ambiente até 1000°C , quando o carro fica disponível para entrar em operação, aguardando a solicitação da Central de Gusa. Esta etapa pode ser observada na figura 2.19.

A usina dispõem de 4 estações de aquecimento com capacidade para aquecimento / manutenção de temperatura de 8 carros torpedos simultaneamente. Três estações estão localizadas na Oficina de Manutenção Centralizadas de Refratários e a quarta e última está localizada próxima aos altos fornos, na área de reparos à quente, essa estação é considerada estratégica devido a sua localização, que necessita de um pequeno tempo para atendimento em caráter de emergência, quando da entrada de carros torpedos no ciclo operacional.

As estações operam com gás de coqueria e são totalmente automatizadas com sistema de combustão programável a partir de duas curvas de aquecimento, uma para o revestimento novo e a outra para o revestimento reparado.

O sistema é programado de forma que quando atinge-se a temperatura final da curva, interrompe-se o ciclo de aquecimento mantendo-se ligado somente a

chama piloto com o carro torpedo abafado, e quando a temperatura cair lentamente até 700°C, o sistema através de monitoramento / acionamento próprio rearma o ciclo de aquecimento até a temperatura visada de 1000°C durante 6 horas. Esse sistema possibilita uma baixa intervenção do homem, além da redução substancial do consumo de gás (a queda de temperatura entre 1000°C e 700°C ocorre durante 48 horas). As curvas de secagem utilizadas para aquecimentos dos revestimentos novos (43 hs) e revestimentos reparados (36 hs) são mostrados nos anexos 12 e 13.

O revestimento refratário monolítico (concreto aluminoso de baixo cimento) da região da boca exige uma secagem prévia. A curva para secagem desse revestimento novo ou reparado visa a retirada da água residual de forma bem lenta, eliminando-se o risco da ocorrência de explosões, o anexo 14 mostra o tipo de curva de secagem utilizada.



Figura 2.19. Estação de aquecimento e lança de aquecimento

2.6.2 Método de Arrefecimento

Ao completarem períodos em operação que determinam a condição de retirada para manutenção ou término da campanha, os carros torpedos passam por uma etapa de inspeção rigorosa à quente visando a eliminação de cascões, escórias e gusa para facilitar e agilizar a limpeza do mesmo quando já resfriados, esse procedimento é praticado intensamente nas últimas corridas que antecedem a sua saída de operação, denominado zeragem / limpeza dos carros torpedos.

A etapa de arrefecimento é realizada na Oficina de Manutenção Centralizada de Refratários numa estação própria que dispõe de um ventilador de alta capacidade, sistema de basculamento com capacidade para giros circulares de 360°

e fossa para receber resíduos de carbureto de cálcio/outras compostos que são liberados durante essa etapa, o ciclo de arrefecimento pode ser resumido a duas fases:

- **1ª fase:** resfriamento natural durante as primeiras 24 hs ($900^{\circ}\text{C} \rightarrow 400^{\circ}\text{C}$) visando uma queda gradativa da temperatura, sem a ocorrência de choques térmicos bruscos.
- **2ª fase:** resfriamento forçado durante 48 hs ($400^{\circ}\text{C} \rightarrow 30^{\circ}\text{C}$) já com a temperatura mais baixa, acelera-se a queda da mesma, criando a condição para a execução dos trabalhos de manutenção no interior dos carros torpedos.

Durante as duas fase são realizados basculamentos (giros completos de 360°) visando a retirada ao máximo de quaisquer materiais soltos ou levemente aderidos a superfície do revestimento refratário e que durante o arrefecimento passam por um processo de contração, o objetivo é a eliminação do interior do carro de materiais que retenham calor ou tenham que ser retirados manualmente posteriormente. Na figura 2.20 a seguir é mostrado essa etapa.



Figura 2.20. Estação de resfriamento e processo de limpeza à quente

2.7 Programa de Controle para Retirada de Carros Torpedos de Operação

Para o acompanhamento da frota e controle da tonelagem transporta das campanhas de cada um dos carros torpedos, utiliza-se um software que monitora as seguintes funções:

- Acompanhamento do números de corridas e tonelagem transportada ;

- Previsão de saída do carro torpedo de operação em função da tonelagem transportada no período ;
- Determinação da velocidade de desgaste ;
- Controle de consumo e custo específico por período de operação e campanha ;
- Acompanhamento do gusa dessulfurado (tonelagem e percentual) ;
- Controle de disponibilidade operacional ;
- Elaboração de croquis de registro de reparos e encerramento de campanha ;
- Emissão de relatórios (acompanhamento diário, disponibilidade, tonelagem mensal/acumulada por carro, índice de dessulfuração por carro, etc.)

Esse software é utilizado como uma ferramenta de controle, fornecendo uma gama variada de informações para a tomada de decisões em relação a quaisquer um dos carros torpedos on line, por ser linkado ao sistema de produção. Os anexos nºs 15 e 16 mostram a tela principal com suas várias funções e um modelo de relatório de acompanhamento diário de toda frota dos carros torpedos. ^[6]

2.8 Ciclo de Manutenção, Tipos de Reparos e Custos

Uma importantíssima característica observada no ciclo de manutenção da atual geração dos refratários de alumina-carbeto de silício-carbono dos carros torpedos é o elevado índice de disponibilidade para a operação, ou seja, durante uma campanha de aproximadamente 852 dias, o equipamento fica disponível no mínimo 800 dias (>94%) o que significa uma redução relativa de capital imobilizado em equipamentos siderúrgico (cada carro torpedo com revestimento refratário apresenta um valor superior a \$2.500.000,00).

No ciclo de manutenção são realizados dois reparos, o primeiro denominado tipo 1 (após transportar 150.000 t de gusa) em que são trocados os painéis das zonas de impacto, revibrado a região da boca ($\pm 40\%$) e aplicação de um shotcrete de aproximadamente 10t. O segundo reparo denominado tipo 2 (após mais 150.000t, ou seja ao atingir 300.000 t de gusa transportadas) repete-se o que foi

executado no reparo tipo 1 acrescido de uma substituição de aproximadamente 20% dos tijolos da linha de escória. Com esse reparo é possível transportar mais 100.000t de gusa e encerrar a campanha com aproximadamente 400.000t de gusa transportada [5, 6].

Um ponto altamente positivo nesse ciclo de manutenção é a atuação de forma programada com a obtenção de uma baixa necessidade de realização de trabalhos em regime de horas extras, além de permitir que os trabalhos sejam executados por apenas duas equipes em regime de 2 turnos de 8 horas, folgando nos finais de semana. No anexo 17 é demonstrado o ciclo de manutenção com seus respectivos consumos e custos de materiais refratários/gastos de mão-de-obra ao longo de uma campanha de aproximadamente 843 dias.

2.9 Sistema de Avaliação da Velocidade de Desgaste

Considerando-se que as campanhas dos carros torpedos apresentam uma duração relativamente longa (>28 meses) com apenas duas paradas para manutenção, além de operarem transportando metal líquido a uma temperatura superior a 1500°C, a adoção de um sistema de avaliação da velocidade de desgaste altamente confiável é primordial para o aproveitamento ao máximo do revestimento refratário, com a priorização da segurança operacional.

A formação de um banco de dados extremamente confiável ao longo dos anos de operação do programa de manutenção e atuação no projeto do revestimento refratário, possibilitam a utilização de materiais cerâmicos compatíveis com a solicitação de cada região do carro-torpedo.

O sistema de avaliação da velocidade de desgaste possui uma característica bastante simples, sendo que logo após o término da montagem do revestimento são retiradas 8 medidas em cada um dos 11 pontos comuns a todos os carros, e, transferidas para um croqui que fica arquivado no sistema e na pasta individual de cada carro-torpedo. Essas 88 medidas denominadas de raios internos do revestimento novo serão comparadas às mesmas medidas que serão retiradas nos mesmos pontos durante as manutenções programadas após 150.000 e 300.000t de gusa transportada, para a determinação da espessura remanescente em cada ponto medido que irão fornecer subsídios para definição com precisão das regiões a serem

reparadas, sua extensão ou determinação do encerramento da campanha. Além das medições são retiradas algumas peças em locais de menor espessura para a confirmação das medidas obtidas a partir das medições. Os anexos 18, 19 e 20 mostram os croquis de registros das medições de um carro torpedo novo, após 150.000 e 300.000 t transportada sendo o registro de carro torpedo novo os valores dos raios internos e os registros dos carros após 150.000 e 300.000 t com as espessuras remanescentes nos 88 pontos avaliados. Na figura 2.21 a seguir é mostrado essa etapa.



Figura 2.21. Metodologia de medição do revestimento de alumina-carbeto de silício-carbono (revestimento novo)

Uma espessura de 80 mm nas regiões dos cones e cilindros é considerada de segurança, sendo descontada do revestimento remanescente quando do cálculo para a definição da tonelagem que o carro ainda poderá operar sem risco operacional. Duas outras ferramentas de controle utilizadas visando aumentar a segurança operacional dos carros torpedos que são as inspeções visuais à quente pelos refrataristas que trabalham em regime de turno de revezamento durante 24 horas na área de reparos à quente de bocas na lingotadeira após cada corrida, podendo detectar quaisquer anormalidade de coloração da carcaça principalmente à noite, e as termografias que podem ser intensificadas nos carros torpedos que estejam próximos ao encerramento de campanhas, sendo que qualquer ponto com temperatura superior a 400°C sinaliza para a retirada imediata de operação, resfriamento e avaliação do revestimento do carro torpedo [5]. O anexo 21 mostra a termografia de um carro torpedo após 366.112 toneladas de gusa transportado. Na figura 2.22 a seguir é mostrado essa etapa.



Figura 2.22. Inspeção visual à quente na área da lingotadeira

2.10 Reparos Durante a Operação Visando o Aumento da Tonelagem Transportada

Durante o ciclo operacional, após o descarregamento do metal líquido nas aciarias os carros torpedos passam por uma estação de reparo à quente próximo aos altos fornos, em que são aplicados os seguintes procedimentos:

- Inspeção visual do revestimento refratário e toda a carcaça com o objetivo de detectar desgaste anormal e ou pontos quentes;
- Eliminação do cascão da região da boca que impede o completo esvaziamento do carro torpedo (caso exista), conforme é mostrado na figura 2.23;
- Zeragem do carro torpedo com seu basculamento no poço de gusa/escória, uma vez que no ato de descarregamento na aciaria não é possível a operação de giro de 360°C, conforme é mostrado na figura 2.23;
- Recomposição parcial do perfil interno do revestimento monolítico da região superior da boca visando minimizar o reparo mecânico dessa região no final de campanha e preservar a estrutura metálica do carro, conforme é mostrado na figura 2.24. Essa ação está permitindo manter os carros torpedos conforme projeto original da carcaça com uma vida útil já superior a 32 anos de operação contínua.



Figura 2.23. Eliminação de cascação na região da boca e zeragem do carro torpedo



Figura 2.24. Recomposição do revestimento monolítico da região da boca através do método de gunning à quente.

Esse conjunto de procedimentos tem contribuído fortemente para o aumento da tonelagem transportada, maior disponibilidade para operação (superior 94%) aumento da segurança operacional (inspeção após cada viagem) e menor necessidade de aquisição de unidades de carros torpedos (menor frota).

2.11 Programa de Reciclagem de Refratários após Uso

Com o contínuo aumento dos custos de produção de materiais refratários devido ao uso de materiais cada vez mais nobres e a maior exigência dos órgãos governamentais em relação às disposições no meio ambiente, ações de reciclagem de materiais refratários após uso tem sido cobradas no sentido de contribuírem para minimizarem esse impactos.

Os tijolos de alumina-carbeto de silício-carbono oriundos das demolições dos revestimentos refratários após encerramento das campanhas é um exemplo de projeto bem sucedido nas áreas de preservação de meio ambiente e redução de custo. O programa de reciclagem desses materiais apresenta um caráter extremamente simples e prático e passa pelas seguintes etapas.

- Após a demolição do carro torpedo, o material refratário e miscelâneas é retirado da fossa e acondicionado em pilhas;
- Durante os intervalos entre manutenções, o material é espalhado com uso de uma pá carregadeira, possibilitando a sua separação, seleção e empadiolamento, conforme figura 2.25. Em seguida é feito o transporte e guarda em local abrigado para posterior envio a um fabricante de materiais refratários próximo à usina para beneficiamento, conforme figura 2.26;
- O beneficiamento consiste na retirada das impurezas, britagem e separação da faixa granulométrica de 5 a 20mm, e, posterior devolução à usina em big bags de 270 kg cada, que são estocados junto ao almoxarifado central para requisição e aplicações futuras.

Durante as manutenções de refratário dos canais de corridas dos altos fornos e concretagens de bocas de carros torpedos esse material já nas embalagens fornecidas com as quantidades necessárias são misturados aos concretos refratários específicos em misturadores próprios e aplicados na construção dos novos revestimentos. O percentual de uso está limitado a 25% em peso em relação ao concreto base e foi definido a partir de estudos realizados no Centro de Pesquisas da empresa, em que foi constatado que até esse percentual não ocorrem alterações significativas de propriedades no novo material formado após introdução do agregado de sucata de refratários de alumina-carbeto de silício-carbono de carros torpedos.



Figura 2.25. Espalhamento, separação, seleção e empadiolamento do material a ser reciclado.



Figura 2.26. Local de guarda e material beneficiado pronto para aplicação.

Esse programa de utilização de material reciclado a partir de sucata de carros torpedos propiciou uma economia de R\$ 5.377.545,00 nos últimos 5 anos conforme quadro a seguir;

Tabela 2.3 - Geração de valor período 2002 a 2006 ^[7]

Ano	Quantidade Reciclada (t)	Geração de Valor (R\$)
2002	234,60	529.374,00
2003	267,20	841.486,00
2004	184,50	781.968,00
2005	318,20	1.701.092,00
2006	282,30	1.523.625,00
Geração de valor em 5 anos ⇒ 5.377.545,00		

2.12 Análise do Efetivo da Manutenção Terceirizada de Carros Torpedos

A execução dos serviços de manutenção de refratários dos carros torpedos é terceirizada, sendo que a empresa contratada fornece a mão-de-obra treinada, equipada com as ferramentas, equipamentos individuais de proteção (EPI'S) e supervisão técnica. O efetivo dimensionado para a manutenção dos 28 carros torpedos está resumido a 35 funcionários sendo:

- 1 supervisor ;
- 2 líderes de grupo ;
- 6 soldadores / maçariqueiros ;
- 18 refrataristas em regime de 2 turnos ;
- 8 refrataristas em regime de turno de revezamento (área de reparo à quente da lingotadeira).

A concentração de todas as atividades de manutenção de refratários e mecânica numa única empresa possibilita a otimização dos recursos e sinergias entre as equipes visando a redução dos tempos de manutenção com menor número de funcionários, como exemplo poderíamos citar a execução dos serviços de refratários em 2 turnos com a equipe da mecânica trabalhando num terceiro turno sem interferência ou apoiando a equipe de refrataristas, ou seja, exercendo o papel de multifuncional. Dos 33 funcionários, 27 estão diretamente ligados às rotinas de manutenção dos carros torpedos na Oficina de Manutenção Centralizada de Refratários e os 8 restantes exercem a atividade de reparo à quente de bocas pelo método de gunning em regime contínuo de turnos de revezamento.

Durante às paradas programada dos fornos das Laminações de Chapas Grossas e Tiras á Quente a equipe de 27 refrataristas / mecânicos é deslocada durante aproximadamente 10 dias para apoiar, sendo que a manutenção de refratários dos carros torpedos é antecipada para atendimento à essa necessidade que ocorre de duas a três vezes ao ano.

As vantagens do modelo de terceirização da manutenção de refratários de carros torpedos é a especialização da equipe com ganhos de produtividade, o desenvolvimento de multifuncionais e a redução significativa de custos.

2.13 Análise de Recebimento dos Materiais Refratários para Revestimentos e Reparos

O processo do controle de qualidade dos materiais refratários adquiridos inicia-se no ato da aquisição em que são consultados os fornecedores nacionais ou estrangeiros, segundo uma especificação técnica de compra que foi elaborada baseada nos históricos dos materiais adquiridos ao longo dos anos e nas fichas técnicas dos próprios fornecedores. Ao chegarem à usina esses materiais são amostrados conforme NBR's e enviados ao laboratório de testes para checagem das propriedades especificadas no ato da consulta, sendo que a usina reserva-se no direito de escolher conforme sua conveniência 3 propriedades a serem testadas (no mínimo). O tempo disponibilizado para a realização dos testes é de 3 dias úteis para os materiais refratários conformados e 5 dias úteis para os não-conformados. Somente após a execução dos testes e com o parecer favorável do responsável pelo laboratório que os materiais são incorporados ao estoque do almoxarifado central ou devolvidos aos fornecedores por estarem fora da especificação acordada no ato da compra. O anexo 22 mostra a especificação de um item de refratário e o boletim de análise dos testes executados. Nas figuras 2.27 e 2.28 a seguir são mostrados os laboratórios de ensaios de materiais refratários.



Figura 2.27. Laboratório de ensaios de recebimento de materiais refratários



Figura 2.28. Laboratório de ensaios de avaliação do desenvolvimento de materiais refratários do Centro de Pesquisas

2.14 Desenvolvimento de Materiais Refratários para Revestimentos e Reparos

A busca de materiais refratários que propiciem maiores campanhas com menor necessidade de reparos intermediários ^[20], contribuindo para a obtenção de menores consumos / custos e alta disponibilidade do equipamento para operação tem sido uma constante busca das empresas siderúrgicas de grande porte e fabricantes de materiais refratários que detêm a tecnologia de produção específica dos materiais de alumina-carbeto de silício-carbono. Cada um tem um papel extremamente importante nessa cadeia, sendo que compete aos fabricantes o desenvolvimento de revestimentos refratários a partir das matérias-primas disponíveis / método de produção e as usinas a avaliação desse mesmos materiais antes, durante e após o ciclo operacional. A análise conjunta nas inspeções e avaliação dos resultados obtidos durante os ciclos de paradas para as manutenções pode ser considerado como um importante modelo de sinergia entre as partes e reorientação dos pontos a serem considerados nos próximos desenvolvimentos.

No caso específico dos carros torpedos, o desenvolvimento dos materiais refratários podem ser resumidos a:

- Materiais para revestimento $\Rightarrow$ tijolos para todas as regiões do equipamento (metal e escória);
- Materiais para reparo $\Rightarrow$ concretos refratários para aplicação pelo método de shotcrete e utilização de tijolos do mesmo tipo que foram montados no início da campanha.

2.15 Avaliação de Tijolos Refratários para Revestimento ou Reparo

Na avaliação dos tijolos refratários a serem utilizados tanto na montagem dos revestimentos quanto no uso dos reparos durante os ciclos de manutenção, são relacionados 9 testes dentre os vários normalizados com o objetivo de estabelecer parâmetros comparativos entre os materiais distintos, resultados operacionais já conhecidos, os que estão em desenvolvimento ou ainda não foram testados em escala industrial. Esse procedimento comparativo do aspecto de segurança operacional é muito importante, uma vez que as campanhas apresentam longa duração (> 28 meses) e a primeira parada para uma avaliação à frio mais criteriosa só ocorre após 1 ano do início de operação. Os 9 testes considerados mais significativos para avaliação desses materiais são ^[8]:

- Difratometria de raios-X;
- Densidade de massa aparente e porosidade aparente;
- Resistência à flexão á quente;
- Variação linear dimensional;
- Oxidação;
- Expansão térmica;
- Choque térmico;
- Ataque por gusa e escória;
- Análise ceramográfica.

Os testes são realizados a partir de corpos de provas retirados de tijolos disponibilizados pelos fabricantes de materiais refratários que possuem as características e objetivos específicos a saber.

2.15.1 Difratometria de Raios-X

A difratometria de raios-X revela as fases cristalinas das matérias-primas empregadas na formulação dos materiais refratários, fornecendo informações importantes que servem de base para avaliar a composição mineralógica do material.

A caracterização mineralógica pode ser realizada visando determinar a evolução de fases após a coqueificação até uma determinada temperatura, igual ou ligeiramente superior à de uso normal, que é mantida por um período especificado. A análise é feita em amostras (lâminas de seção polida) retiradas do material refratário em estudo. Na figura 2.29 a seguir é mostrado o resultado de uma análise.

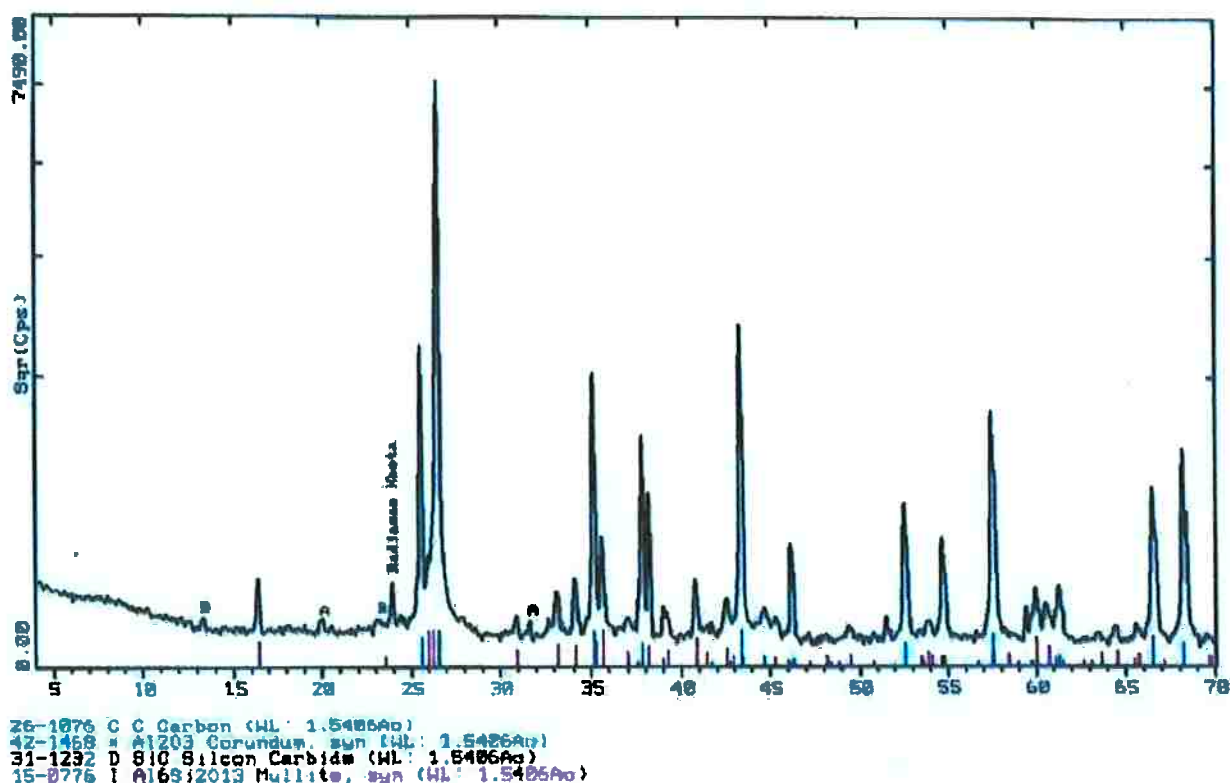


Figura 2.29. Difratoograma de raios-X de tijolo de Al_2O_3 -SiC-C (isento de Si e Al)

2.15.2 Densidade de Massa Aparente e Porosidade Aparente

A densidade de massa aparente (D_{ma}) permite verificar o grau de compactação através do resultado do quociente entre a massa do produto refratário e o seu volume aparente. O volume aparente compreende a parte sólida, os poros, isto é, comunicantes entre si e com pequenas células individuais separadas. A determinação da quantidade de poros de um material é conhecida como porosidade aparente (P_a).

Essas propriedades dependem da composição das fases presentes, do fator de empacotamento e das variáveis de processamento, sendo normalmente determinadas pelo método da balança hidrostática.

As diversas propriedades dos materiais refratários e o seu desempenho industrial estão relacionados com o volume dos poros, quantidade, distribuição e morfologia. Geralmente uma porosidade maior, acarreta uma redução na resistência mecânica, na resistência á deformação à quente, na condutividade térmica, na resistência aos ataques químicos (por líquidos e gases no seu interior). A norma utilizada para sua determinação é a NBR6220 ^[9], na figura 2.30 a seguir é mostrado o resultado de uma análise.

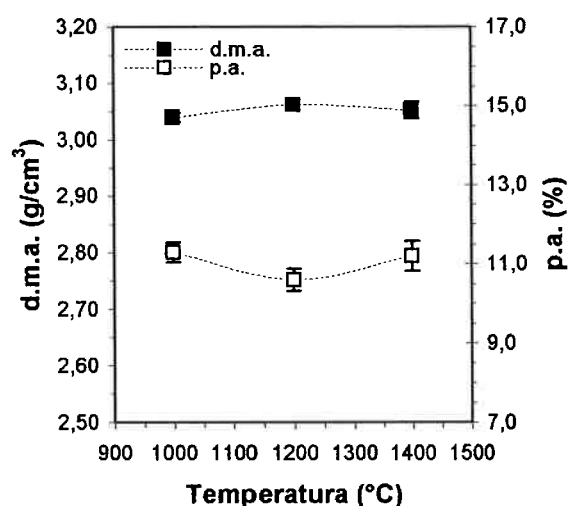


Figura 2.30. Resultado de densidade aparente e porosidade aparente

2.15.3 Resistência à Flexão à Quente

O ensaio de resistência a flexão à quente, conhecido também como módulo de ruptura á quente (HMOR), tem por finalidade avaliar a resistência mecânica dos materiais refratários em altas temperaturas. O ensaio termina com a ruptura do corpo-de-prova, sendo que a maioria dos materiais refratários falham quando estão operando sob tensão. A norma utilizada para sua determinação é a NBR9642 ^[10], na figura 2.31 a seguir é mostrado o resultado de uma análise.

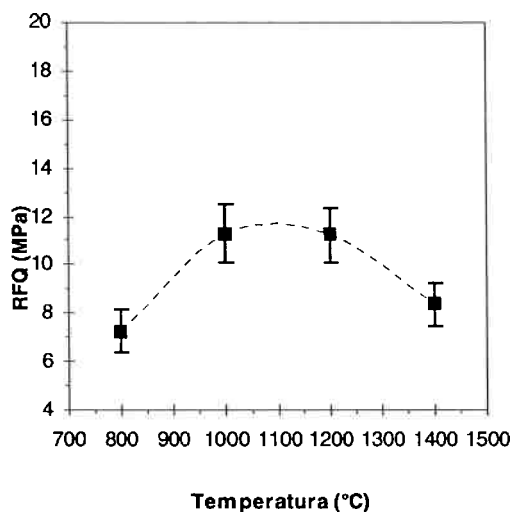


Figura 2.31. Resultado de flexão à quente

2.15.4 Variação Linear Dimensional

O ensaio de variação linear dimensional consiste em determinar o comportamento dimensional dos materiais refratários decorrentes do tratamento térmico. O teste permite verificar se o material refratário foi queimado de forma adequada, sua estabilidade dimensional e adequação ao uso. O conhecimento dessa propriedade fornece subsídios para o cálculo de juntas de expansão, bem como na previsão do comportamento dos materiais refratários na temperatura de trabalho. A norma utilizada para sua determinação é a NBR 6225 ^[11], na figura 2.32 a seguir é mostrado o resultado de uma análise.

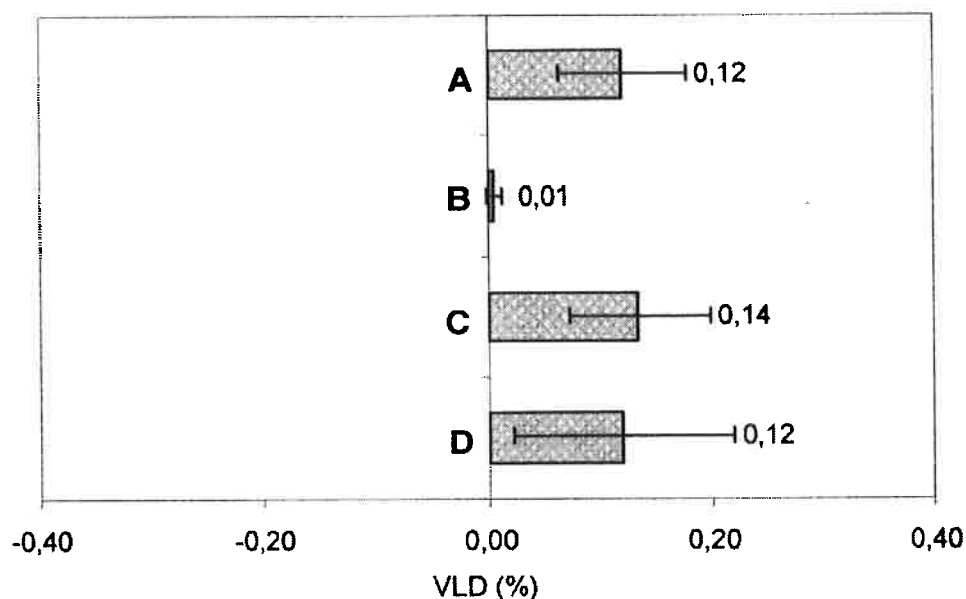


Figura 2.32. Resultado de variação linear dimensional

2.15.5 Resistência a Oxidação

A determinação da resistência a oxidação dos materiais refratários que contém carbono em sua composição química é de fundamental importância na avaliação do produto em operação, é também avaliando de forma mais consistente os diversos anti-oxidantes utilizados pela indústria de materiais refratários. A oxidação do carbono promove um aumento da molhabilidade dos refratários pelas escórias e metais em estado líquido, favorecendo a infiltração de compostos, implicando em mudanças estruturais que irão afetar o seu desempenho. O teste de oxidação ainda não é normalizado, sendo realizado conforme procedimento interno (SL3900-Q-8PR0183) ^[12]. No anexo 23 é mostrado a característica visual de 2 corpos de prova após o teste.

Tabela 2.4 - Resultado de ensaio de oxidação

Denominação	C (%)		$C_{(inicial)} - C_{(final)}$ (%)	g.o.(%) 1400 (°C)
	$C_{(inicial)}$	$C_{(final)}$		
Material A	15,20	5,87	9,33	61
Material B	13,30	4,89	8,41	63
Material C	12,80	4,55	8,25	64

2.15.6 Expansão Térmica

Consiste na alteração das dimensões de um corpo de prova pelo efeito da temperatura. Essa propriedade encontra aplicação direta na engenharia de projetos, em cálculos de juntas de expansão, bem como na previsão do comportamento dos materiais refratários quanto aos efeitos dos choques térmicos.

Alguns componentes dos materiais refratários são substâncias cristalinas, sujeitas a transformação de fases a determinadas temperaturas, por essa razão as curvas de expansão podem servir para identificar a fase e a quantidade relativa desses componentes. O método de execução desse teste é conforme o manual do equipamento *NETZSCH 402E* ^[13].

Tabela 2.5 - Resultado do ensaio de expansão térmica

Denominação	$\alpha (\times 10^{-6} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})$
Material A	7,5
Material B	7,8
Material C	8,4
α = coeficiente de expansão térmica linear médio entre 400 e 1400°C	

2.15.7 Choque Térmico

O ensaio representa as alterações cíclicas de temperaturas a que estão sujeitos os materiais refratários durante a operação do equipamento siderúrgico. O método de ensaio mais usado consiste em ciclos de aquecimento e resfriamento dos corpos de prova, podendo o resfriamento ser em ar, água ou nitrogênio. A avaliação dos efeitos do choque térmico é realizada através do registro de formação de trincas, pela queda da resistência mecânica ou pela variação do módulo de elasticidade. A estrutura do material cerâmico e o processo de fabricação tem grande influência sobre a resistência ao choque térmico dos materiais refratários. A norma utilizada para a determinação da resistência ao choque térmico é a NBR 13202 ^[14]. Na figura 2.33 a seguir é mostrado o resultado de um ensaio.

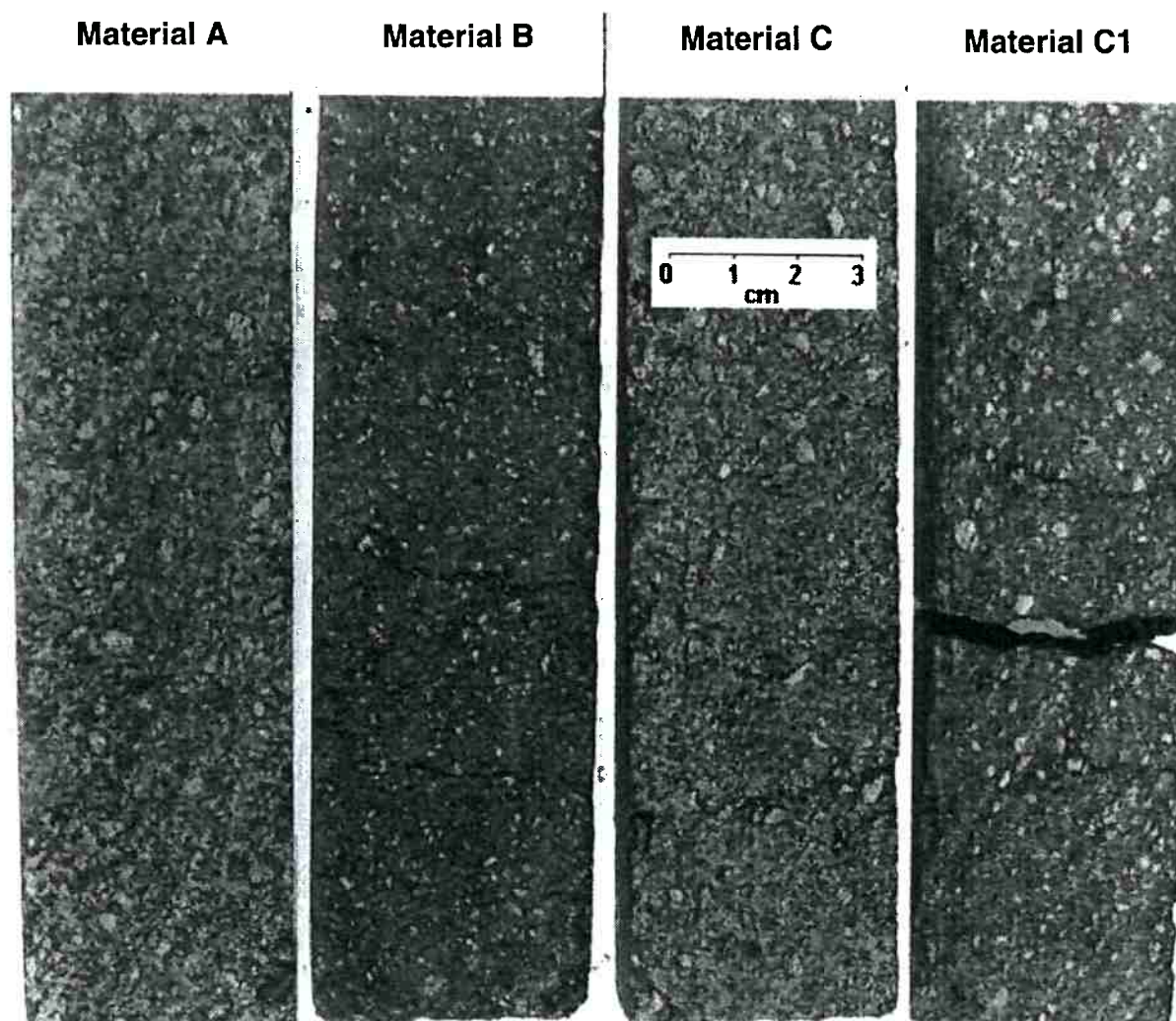


Figura 2.33. Resultado de resistência ao choque térmico

2.15.8 Ataque por Escória

Esse ensaio tem por finalidade avaliar o comportamento dos materiais refratários frente ao ataque provocado por escórias e metais em estado líquido, e se correlaciona diretamente com o desempenho dos refratários em operação.

No teste de ataque por escória as reações são extremamente complexas, resultado de uma superposição de fenômenos químicos, físicos e mecânicos, que dependem de vários fatores (tempo, temperatura, atmosfera, etc). A velocidade da reação depende principalmente da natureza da escória e da sua viscosidade, o desgaste do material refratário é também influenciado pela morfologia e pela distribuição dos poros. A norma utilizada para a determinação do ataque por escória

é a NBR 8830 ^[15], existindo também um procedimento interno SL3900-Q-8PR0183 ^[12]. Na figura 2.34 a seguir é mostrado o resultado de um ensaio.

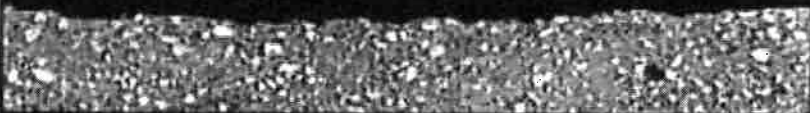
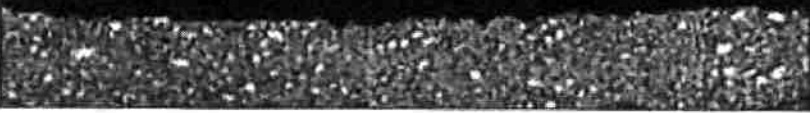
Nome	Fotografia da Seção Longitudinal	Desgaste (%)
A		23 ± 2
B		22 ± 1
C		25 ± 1
C1		25 ± 1

Figura 2.34. Resultado de resistência ao choque térmico

2.15.9 Análise Ceramográfica

É uma técnica de análise da microestrutura dos materiais cerâmicos através de microscópio ótico. Representa um recurso essencial no controle da qualidade, na caracterização e na avaliação do mecanismo de desgaste das cerâmicas refratárias.

A ceramografia estuda a microestrutura dos materiais cerâmicos, enfocando principalmente a morfologia dos grãos, fases presentes e o contorno dos grãos. A microestrutura está diretamente relacionada com as propriedades e características que podem influenciar o comportamento operacional, e, geralmente são feitas como estudos de post mortem (após o uso operacional). O teste de ceramografia é realizado conforme procedimentos internos SL3900-Q-8PR0181 ^[16] e SL3900-Q-8PR0182 ^[17]. Na figura 2.35 a seguir é mostrado o resultado de um ensaio.

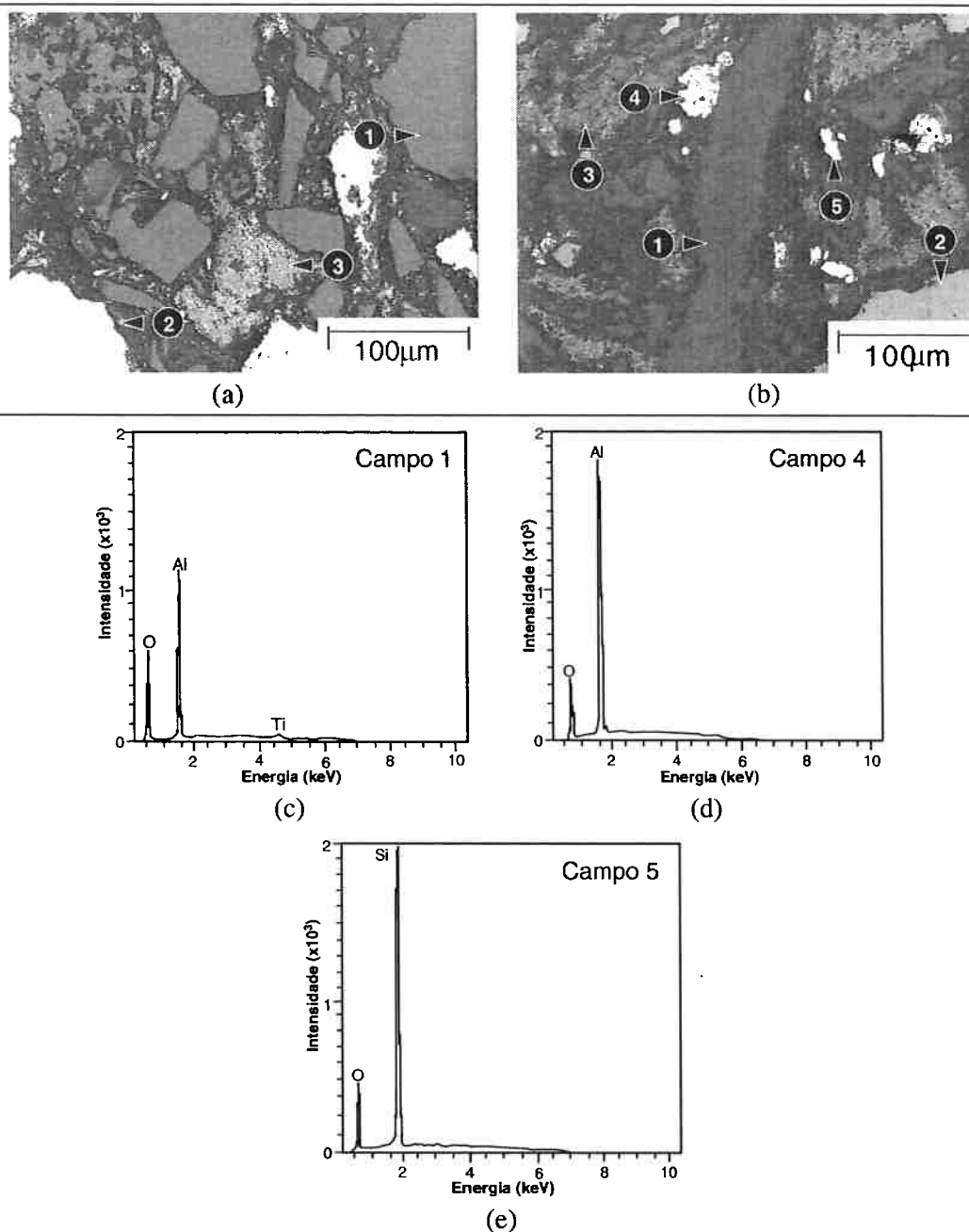


Figura 2.35. Fotomicrografias de campos dos tijolos B-0 (a) e A-1 (b), juntamente com os resultados de microanálises dos campos 1 (c), 4 (d) e 5 (e), coqueificados a 500 °C durante 5 horas: Al₂O₃ (1); SiC (2); C (3); Al (4) e Si (5).

2.16 Avaliação de Concretos Refratários para Reparos pelo Método de Shotcrete

Na avaliação dos concretos refratários para serem aplicados pelo método de shotcrete utiliza-se os mesmos ensaios dos tijolos refratários para o revestimento

ou reparo, diferindo apenas na preparação dos corpos de prova que são retirados a partir da projeção dos referidos materiais num painel e a posterior retirada dos mesmos. Na figura 2.36 a seguir é mostrado o processo de obtenção dos corpos de prova dos concretos refratários de shotcrete que são utilizados para a avaliação no Centro de Pesquisas e no Laboratório de Teste da Manutenção Central de Refratários ^[18].

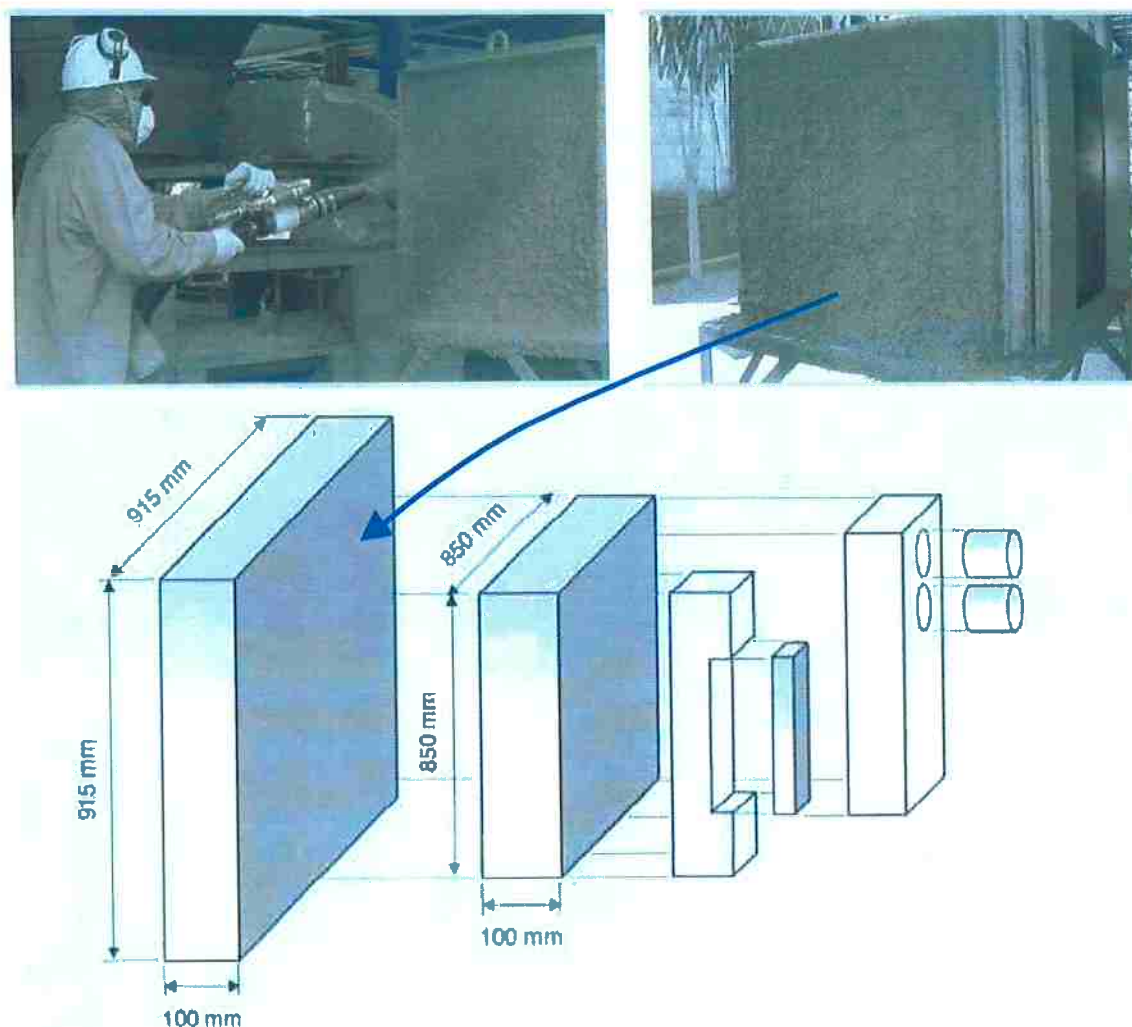


Figura 2.36. Fotos de projeção pelo método de shotcrete e figura de retirada do corpo de prova para ensaio do material

2.17 Dimensionamento de Carros Torpedos para um Ritmo de Produção de 4.800.000 t de aço^[19]

O dimensionamento do quantitativo de carros torpedos necessários a operacionalização com segurança de uma usina siderúrgica num ritmo de produção de 4.800.000 t de aço líquido/ano leva em consideração alguns aspectos característicos da planta, podendo-se destacar.

- layout da usina;
- distância entre os altos-fornos (início do processo) e as aciarias (destino final);
- pré-tratamentos nos carros torpedos;
- existência de estações de limpeza e zeragem;
- estações de aquecimento em proximidade aos altos-fornos (pequenos tempos de deslocamentos em casos de urgência nos altos fornos);
- controle efetivo sobre o circuito do gusa (manuseio dos carros torpedos) com a visão de maior número de viagens/dia com maior tonelagem transportada a cada viagem.

Considerando-se as características enunciadas foi elaborado um estudo para se determinar o número ideal de carros torpedos no ciclo operacional, que é calculado conforme fórmula a seguir:

$$n = \frac{\frac{a}{2}}{e \cdot f} + \frac{\left(\frac{a}{2} - c\right) \frac{b}{24}}{f} + \frac{d}{f}$$

Onde:

$n \Rightarrow$ número de carros torpedos necessários à operação;

$a \Rightarrow$ produção diária de gusa (em toneladas);

$b \Rightarrow$ número de horas de parada programada da aciaria;

$c \Rightarrow$ gusa lingotado (em toneladas);

$d \Rightarrow$ saldo de gusa antes da parada da aciaria (em toneladas);

$e \Rightarrow$ número de viagens de cada carro torpedo/dia;

$f \Rightarrow$ carga média transportada por cada carro torpedo por viagem (em toneladas).

A partir da fórmula apresentada, e, considerando-se as duas situações rotineiras que ocorrem no dia-a-dia da operação podemos simular os seguintes cálculos:

1ª Situação: aciarias em operação normal com saldo de gusa de 1.500 t e os altos fornos, gerando uma produção diária total de 12.500 t/dia.

$n \Rightarrow$ a ser determinado;

$a \Rightarrow 12.500$ t/dia;

$b \Rightarrow 0$;

$c \Rightarrow 0$;

$d \Rightarrow 1500$ t;

$e \Rightarrow 2,5$ viagens/dia;

$f \Rightarrow 225$ t/viagens (capacidade nominal do carro torpedo de 250t).

$$n = \frac{\frac{12500}{2}}{2,5 \cdot 225} + \frac{\left(\frac{12500}{2} - 0\right) \frac{0}{24}}{225} + \frac{1500}{225}$$

$$n = \frac{6250}{562,5} + 0 + \frac{1500}{225}$$

$$n = 11,11 + 6,66$$

$$n = 17,77$$

$n \Rightarrow 18$ carros torpedos no ciclo, em condição normal de operação.

2ª Situação: com uma aciaria parada durante 12 horas, parada iniciada com um saldo de gusa de 600t e os altos-fornos num ritmo de produção de 12.500 t/dia.

$n \Rightarrow$ a ser determinado;

$a \Rightarrow 12.500$ t/dia;

$$b \Rightarrow 12 \text{ hs};$$

$$c \Rightarrow 0;$$

$$d \Rightarrow 600\text{t};$$

$$e \Rightarrow 2,5 \text{ viagens/dia};$$

$$f \Rightarrow 225 \text{ t/viagens (capacidade nominal do carro torpedo de 250t)}.$$

$$n = \frac{\frac{12500}{2}}{2,5 \cdot 225} + \frac{\left(\frac{12500}{2} - 0\right) \frac{12}{24}}{225} + \frac{600}{225}$$

$$n = \frac{6250}{562,5} + \frac{3125}{225} + \frac{600}{225}$$

$$n = 11,11 + 13,8 + 2,66$$

$$n = 27,5$$

$n \Rightarrow 28$ carros torpedos no ciclo, quando uma aciaria estiver com parada programada de 12 horas.

Comentários referentes aos cálculos

1º) Com o ciclo operacional normal é possível operá-lo com apenas 17 carros torpedos, ficando 11 carros em aquecimento/manutenção.

2º) Durante a parada de uma das aciarias, a mesma só poderá iniciar quando o saldo de gusa chegar a 600t e todos os 28 carros torpedos deverão estar disponíveis para o ciclo operacional, caso não seja tomada a decisão de lingotar gusa ou reduzir o ritmo de produção dos altos fornos (ritmo planejado: 12.500 t/dia).

2.17.1 Distribuição dos Carros Torpedos no Ciclo Operacional Normalizado

A distribuição a seguir é baseada no cálculo demonstrado na “1ª situação”, quando opera-se com 18 carros torpedos, no anexo 23 é mostrado o fluxo de operação completos dos carros torpedos.

Tabela 2.6 - Distribuição dos carros torpedos no ciclo de operação ^[19]

CARROS-TORPEDOS NO CICLO NORMAL	- altos-fornos $\Rightarrow$ 10 - tratamento e limpeza do gusa $\Rightarrow$ 1 - aciaria 1 $\Rightarrow$ 2 - aciaria 2 $\Rightarrow$ 4 - desvio altos-fornos e limpeza de carros torpedos $\Rightarrow$ 1
FORA DO CICLO	- aquecimento $\Rightarrow$ 8 - manutenção $\Rightarrow$ 2

3 CONCLUSÕES

Os materiais refratários tem se destacado como um insumo absolutamente indispensável à produção do aço, sendo importantes não apenas na segurança dos processos industriais, mas também, para garantirem a qualidade dos produtos siderúrgicos. São tipicamente utilizados como revestimentos em vasos metalúrgicos para reação e transporte de cargas metálicas líquidas a altas temperaturas, onde experimentam os mais diversificados e severos modos de solicitações.

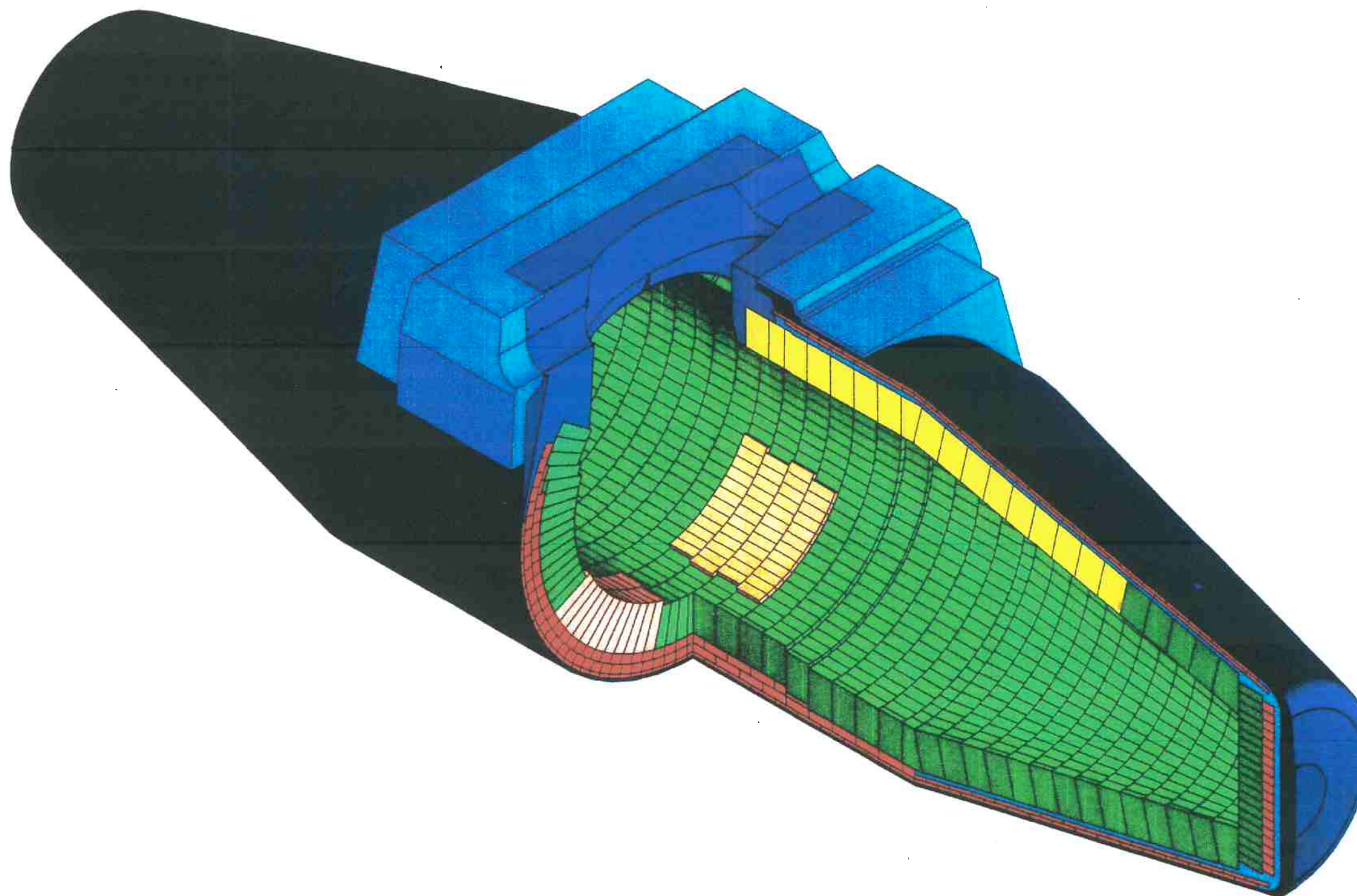
A indústria siderúrgica é o principal consumidor de materiais refratários, correspondendo a cerca de 70% do mercado mundial. Isto representa um expressivo dispêndio e tem preocupado esse setor desde o início de suas atividades. Além disto as paradas para as manutenções de refratários sobretudo aquelas não programadas, interrompem as atividades operacionais concorrendo indiretamente para elevar os custos de produção do aço.

Assim como nos processos siderúrgicos, os refratários de carros torpedos conforme mostrado neste trabalho, evoluíram consideravelmente nos últimos anos, contribuindo significativamente para reduzir o consumo específico de refratários, mesmo sob condições metalúrgicas cada vez mais severas e os custos de montagem e reparo dentro de um ciclo de operação otimizado e controlado.

A visão futura esperada é a obtenção de campanhas cada vez maiores com baixo nível de intervenção, ciclos de paradas cada vez menores, alta disponibilidade, maior segurança operacional, além da priorização da reciclagem de materiais refratários pós uso (contribuindo para uma menor disposição no meio ambiente e redução de custos). Todos esses fatores visados estão atrelados ao estreito relacionamento entre as siderúrgicas e os produtores de materiais refratários não se excluindo aí a colaboração técnica das universidades e institutos de pesquisa numa parceria contínua.

1 ANEXOS

Anexo 1 – Perfil do Revestimento Refratário e Materiais Utilizados em Cada Região.



Anexo 2 – Perfil do Revestimento Refratário e Materiais Utilizados em Cada Região^[4]

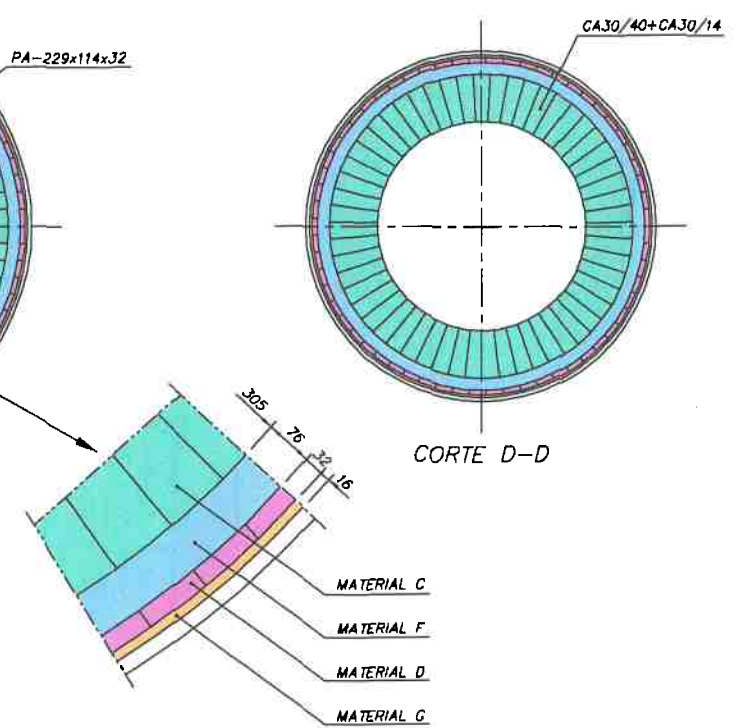
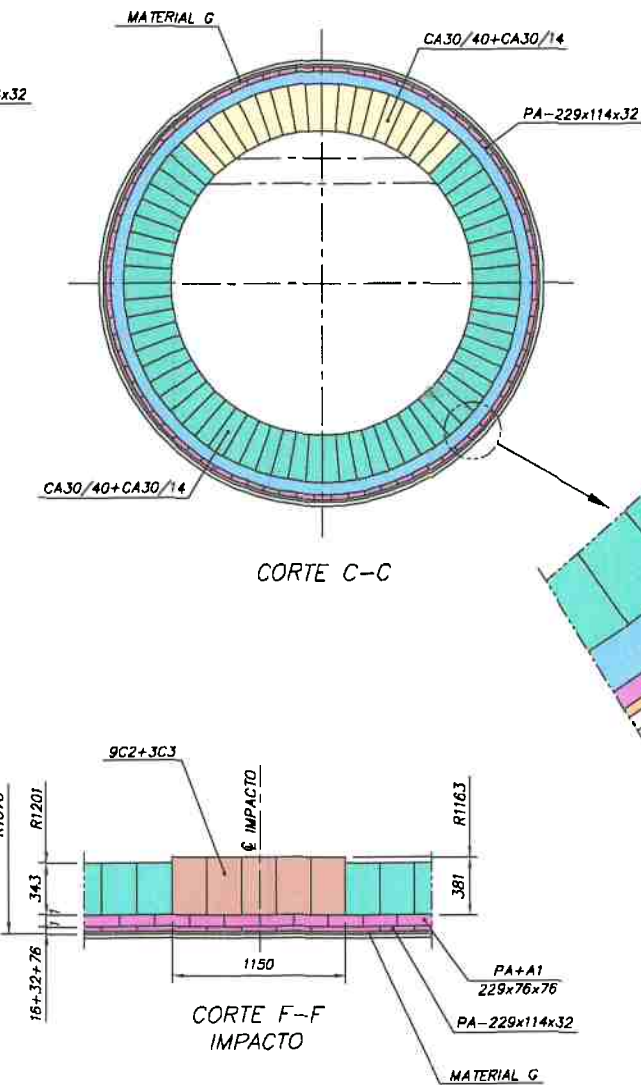
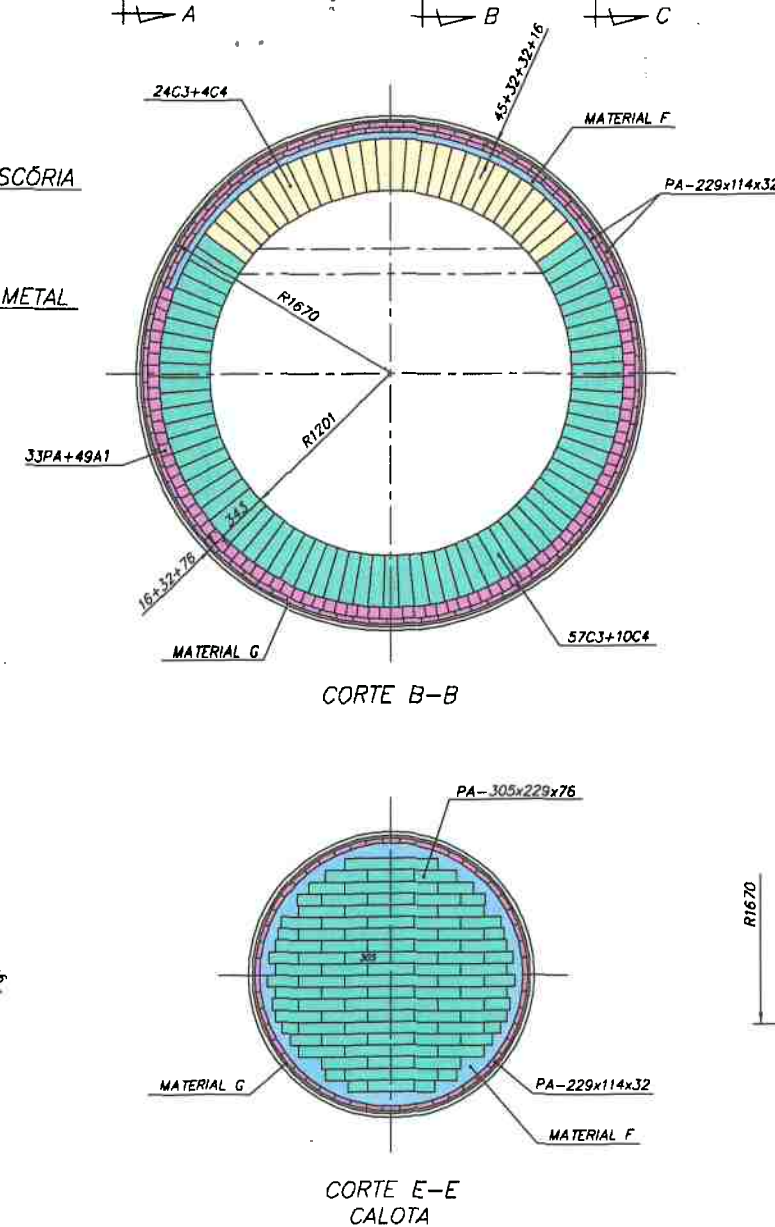
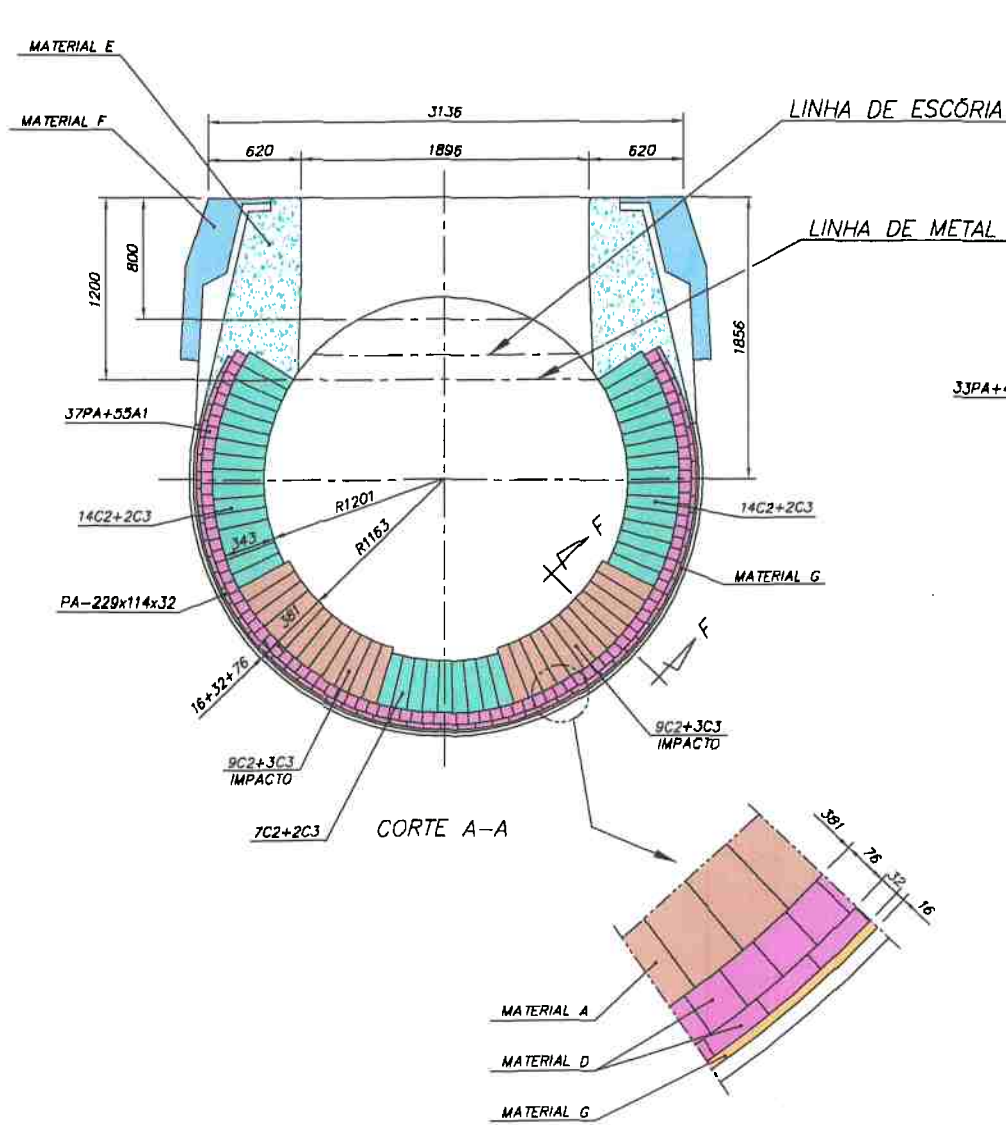
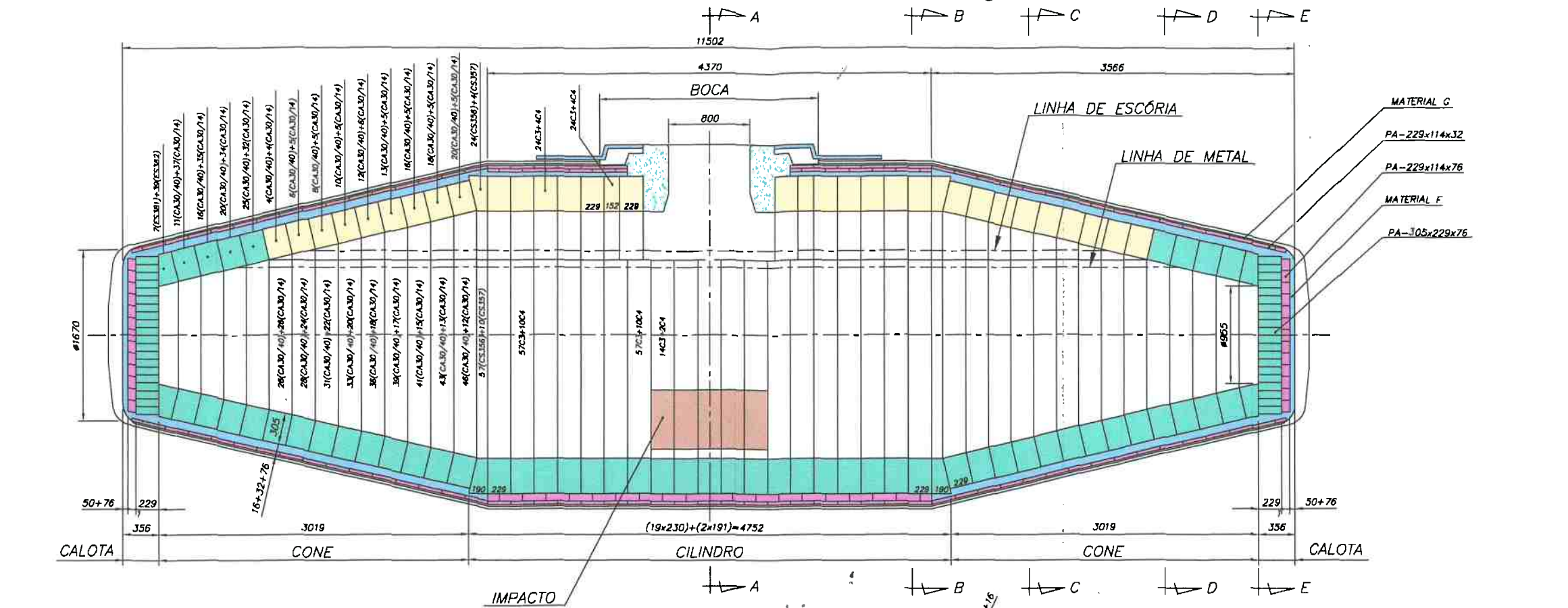
REVISÃO	DATA	DESCRIÇÃO	COORDENADA DE LOCALIZAÇÃO	REVISADO POR	APROVADO POR

59

LEGENDA

	MATERIAL A		MATERIAL E
	MATERIAL B		MATERIAL F
	MATERIAL C		MATERIAL G
	MATERIAL D		

CAPACIDADE			
NÍVEL	CONDIÇÃO	VOLUME(m ³)	CARGA (t)
CARRO CHEIO	REVESTIMENTO NOVO	36,4	255
800mm BORDA	REVESTIMENTO NOVO	34,3	240
	METADE DA CAMPANHA DESGASTE DE 115mm	42,0	294
	FIM DE CAMPANHA DESGASTE DE 230mm	50,2	351,5



		DATA:	DESENHADO POR:
		PROJETADO POR:	VERO POR:
CARRO TORPEDO - 250t ARRANJO GERAL REVESTIMENTO REFRAKTÁRIO		MÁQUEDA DE ENGENHARIA	ASSISTENTE TÉCNICO:
		SUBSTITUIR:	TER:
	ESCALA:	FORMATO:	DESENHO Nº:
	1:25	A1	
			REVISÃO

Anexo 3 – Ficha Técnica Material A^[4]

Descrição

Tijolo refratário de alumina-carbeto de silício-carbono, ligado à resina, curado. Com adição de anti-oxidante. Resistente a corrosão por gusa líquido e escórias de alto-forno e processos de pré-tratamento do gusa. Com película anti-derrapante.

Aplicações principais

Carro torpedo com pré-tratamento do gusa: Região de impacto do gusa e linha de escória.

Análise Química (%)

Al ₂ O ₃	SiC	C(Total)	SiO ₂
73,00 / 77,00	Mínimo 15,00	12,00 / 15,00	Máximo 6,00

Propriedades Físicas e Específicas

DENSIDADE DE MASA APARENTE (g/cm ³)	2,92 / 3,02
DENSIDADE DE MASA APARENTE APÓS COQUEIFICAÇÃO A 1400°C x 5 h (g/cm ³)	2,98 / 3,08
POROSIDADE APARENTE (%)	6,5 / 9,5
POROSIDADE APARENTE APÓS COQUEIFICAÇÃO A 1400°C x 5 h (%)	10,0 / 14,0
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO A TEMPERATURA AMBIENTE (Mpa)	50 / 55
RESISTÊNCIA A FLEXÃO A QUENTE A 1400°C x 30 minutos (Mpa)	Mínimo 12,0

Embalagem

Consultar o manual de embalagens.

Observações

- 1-Senão especificados, os ensaios utilizados foram os da ABNT.
- 2-Para informações adicionais sobre segurança, consultar a Folha de Dados de Segurança – FDSP.
- 3-Os ensaios de Análise Química e Carbono Total são realizados conforme metodologia interna.
- 4-Os ensaios de Análise Química, Carbono Total, DMA, PA, RFQ(1400°C) não são realizados para controle de rotina.
- 5-Dados técnicos resultantes de ensaios realizados em corpos de prova deste produto, proveniente de produções industriais.

As informações contidas nesta folha poderão sofrer alterações sem aviso prévio. Contatar nossa área comercial.

Anexo 4 – Ficha Técnica Material B^[4]

Descrição

Tijolo refratário de Al_2O_3 -SiC-C, com 8% de carbono, à base de alumina eletrofundida, grafita lamelar, com adição de anti-oxidantes, ligado à resina e curado. De elevadas resistências a oxidação, a erosão pelo gusa e corrosão escórias. Com película anti-derrapante.

Aplicações principais

Linha de escória de Carro Ttorpedo.

Análise Química (%)

Al_2O_3	SiC	C(Total)	SiO_2
85,00 / 88,00	Mínimo 6,00	9,00 / 12,50	Máximo 6,00

Propriedades Físicas e Específicas

DENSIDADE DE MASA APARENTE (g/cm^3)	3,07 / 3,21
DENSIDADE DE MASA APARENTE APÓS COQUEIFICAÇÃO A 1400°C x 5 h (g/cm^3)	3,12 / 3,22
POROSIDADE APARENTE (%)	5,0 / 10,0
POROSIDADE APARENTE APÓS COQUEIFICAÇÃO A 1400°C x 5 h (%)	9,0 / 12,0
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO A TEMPERATURA AMBIENTE (Mpa)	40 / 80
RESISTÊNCIA A FLEXÃO A QUENTE A 1400°C x 30 minutos (Mpa)	Mínimo 10,0

Embalagem

Consultar o manual de embalagens.

Observações

- 1-Senão especificados, os ensaios utilizados foram os da ABNT.
- 2-Para informações adicionais sobre segurança, consultar a Folha de Dados de Segurança – FDSP.
- 3-Os ensaios de Análise Química e Carbono Total são realizados conforme metodologia interna.
- 4-Os ensaios de Análise Química, Carbono Total, DMA, PA, RFQ(1400°C) não são realizados para controle de rotina.
- 5-Dados técnicos resultantes de ensaios realizados em corpos de prova deste produto, proveniente de produções industriais.

As informações contidas nesta folha poderão sofrer alterações sem aviso prévio. Contatar nossa área comercial.

Anexo 5 – Ficha Técnica Material C^[4]

Descrição

Tijolo refratário de Al_2O_3 -SiC-C, com 8% de carbono, à base de alumina eletrofundida, grafita lamelar, com adição de anti-oxidantes, ligado à resina e curado. De elevadas resistências a oxidação, a erosão pelo gusa e corrosão escórias. Com película anti-derrapante.

Aplicações principais

Linha de metal e teto de Carro Torpedo.

Análise Química (%)

Al_2O_3	SiC	C(Total)	SiO_2
83,50 / 87,50	Mínimo 5,00	10,00 / 13,00	Máximo 8,00

Propriedades Físicas e Específicas

DENSIDADE DE MASA APARENTE (g/cm^3)	3,05 / 3,17
DENSIDADE DE MASA APARENTE APÓS COQUEIFICAÇÃO A 1400°C x 5 h (g/cm^3)	3,03 / 3,13
POROSIDADE APARENTE (%)	4,0 / 8,0
POROSIDADE APARENTE APÓS COQUEIFICAÇÃO A 1400°C x 5 h (%)	8,0 / 12,0
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO A TEMPERATURA AMBIENTE (Mpa)	40 / 85
RESISTÊNCIA A FLEXÃO A QUENTE A 1400°C x 30 minutos (Mpa)	Mínimo 8,0

Embalagem

Consultar o manual de embalagens.

Observações

- 1-Senão especificados, os ensaios utilizados foram os da ABNT.
- 2-Para informações adicionais sobre segurança, consultar a Folha de Dados de Segurança – FDSP.
- 3-Dados técnicos parciais, preliminares, resultados de ensaios realizados em corpos de prova deste produto em desenvolvimento, fabricados em instalação piloto ou semi-industrial, sujeitos portanto à variações, quanto da introdução deste produto nos processos industriais.
- 4-Os ensaios de Análise Química e Carbono Total são realizados conforme metodologia interna.
- 5-Os ensaios de Análise Química, Carbono Total, DMA, PA, RFQ(1400°C) não são realizados para controle de rotina.

As informações contidas nesta folha poderão sofrer alterações sem aviso prévio. Contatar nossa área comercial.

Anexo 6 – Ficha Técnica Material D^[4]

Descrição

Tijolos e peças refratárias silico aluminosas, queimadas.

Aplicações principais

Fornos industriais cerâmicos e metalúrgicos, em operações contínuas ou intermitentes.

Análise Química (%)

Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O + K ₂ O
42,50 / 46,50	48,50 / 46,50	Máximo 3,15	Máximo 1,60	Máximo 1,00

Propriedades Físicas e Específicas

DENSIDADE DE MASA APARENTE (g/cm³)	2,27 / 2,40
POROSIDADE APARENTE (%)	13,0 / 18,0
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO A TEMPERATURA AMBIENTE (Mpa)	35 / 65
RESISTÊNCIA AO CHOQUE TÉRMICO (CICLOS 950°C x 15 minutos)	Mínimo 30

Embalagem

Consultar o manual de embalagens.

Observações

- 1-Senão especificados, os ensaios utilizados foram os da ABNT.
- 2-Para informações adicionais sobre segurança, consultar a Folha de Dados de Segurança – FDSP.
- 3-Os ensaios de Análise Química e RDT são realizados conforme metodologia interna.
- 4-Os ensaios de Análise Química, VDL e RCT não são realizados para controle de rotina.
- 5-Dados técnicos resultantes de ensaios realizados em corpos de prova deste produto, proveniente de produções industriais.
- 6-As especificações para formato CHECKER (Regenerador) são as seguintes:
DMA = 2,28 / 2,38 g/cm³ PA = 13,0 / 17,0 % RCTA = 35/65 MPa
- 7-As especificações para formato CHECKER CH-8 (Coqueria) são as seguintes:
DMA = 2,23 / 2,33 g/cm³ PA = 14,5 / 18,5 % RCTA = 30/60 MPa

As informações contidas nesta folha poderão sofrer alterações sem aviso prévio. Contatar nossa área comercial.

Anexo 7 – Ficha Técnica Material E^[4]

Descrição

Concreto refratário aluminoso de baixo teor de cimento tixotrópico de pega hidráulica, resistente ao choque térmico e escória de dessulfuração.

Temperatura máxima de uso 1700°C.

Aplicações principais

Boca de Carro Torpedo.

Análise Química (%)

Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO
Mínimo 80,00	Máximo 12,30	Máximo 3,00	Máximo 2,00	Máximo 3,00

Propriedades Físicas e Específicas

DENSIDADE DE MASA APARENTE APÓS MOLDAGEM (g/cm ³)	Mínimo 2,85
DENSIDADE DE MASA APARENTE APÓS 110°C x 24 h (g/cm ³)	Mínimo 2,70
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO A TEMPERATURA AMBIENTE APÓS 110°C x 24 h (Mpa)	Mínimo 40
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO A TEMPERATURA AMBIENTE APÓS 1400°C x 5 h (Mpa)	Mínimo 70
VARIAÇÃO LINEAR DIMENSIONAL APÓS 1400°C x 5 h (%)	-0,8 / 0,0
RESISTÊNCIA À EROSIÃO APÓS QUEIMA À 815°C x 5 h (cm ³)	Máximo 7,0

Condições de Aplicação

Adicionar 5 a 6 litros de água potável na temperatura de 20 a 30 °C, para cada 100 kg do produto.

Maiores informações poderão ser obtidas através do Folheto de Aplicação deste produto FDA.

Embalagem

Consultar o manual de embalagens.

Em sacos de papel de 25 kg ou Big Bag de 500 / 1000 kg

Observações

- 1-Senão especificados, os ensaios utilizados foram os da ABNT.
- 2-Análise Química, propriedades físicas e específicas não fazem parte do controle rotineiro.
- 3-O ensaio de Análise Química foi realizados conforme metodologia interna.
- 4-Para informações adicionais sobre segurança, consultar a Folha de Dados de Segurança – FDSP.
- 5-Dados técnicos obtidos de ensaios realizados em corpos de prova deste produto, proveniente de produções industriais.

As informações contidas nesta folha poderão sofrer alterações sem aviso prévio. Contatar nossa área comercial.

Anexo 8 – Ficha Técnica Material F^[4]

Descrição

Concreto refratário silico aluminoso, de pega hidráulica, aplicado por colher ou vertedura e vibração. Temperatura máxima de uso 1450°C.

Aplicações principais

Em substituição à tijolos silicos aluminosos.

Análise Química (%)

Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO
Mínimo 43,00	Máximo 47,00	Máximo 3,00	Máximo 2,50	Máximo 5,00

Propriedades Físicas e Específicas

DENSIDADE DE MASA APARENTE APÓS MOLDAGEM (g/cm³)	Mínimo 2,20
DENSIDADE DE MASA APARENTE APÓS 110°C x 24 h (g/cm³)	Mínimo 2,10
DENSIDADE DE MASA APARENTE APÓS 1400°C x 5 h (g/cm³)	Mínimo 2,00
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO A TEMPERATURA AMBIENTE APÓS 110°C x 24 h (Mpa)	Mínimo 15
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO A TEMPERATURA AMBIENTE APÓS 815°C x 5 h (Mpa)	Mínimo 12
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO A TEMPERATURA AMBIENTE APÓS 1400°C x 5 h (Mpa)	Mínimo 35
VARIAÇÃO LINEAR DIMENSIONAL APÓS 815°C x 5 h (%)	-0,5 / 0,5
VARIAÇÃO LINEAR DIMENSIONAL APÓS 1400°C x 5 h (%)	-0,8 / 0,8
CONDUTIBILIDADE TÉRMICA A 200°C (W/m.K)	1,02
CONDUTIBILIDADE TÉRMICA A 400°C (W/m.K)	1,08
CONDUTIBILIDADE TÉRMICA A 600°C (W/m.K)	1,08
CONDUTIBILIDADE TÉRMICA A 800°C (W/m.K)	1,10
REFRATARIEDADE SIMPLES	Mínimo 29

Condições de Aplicação

Para aplicação por vertedura e vibração, adicionar 10 a 12 litros de água a temperatura de 20 a 30 °C para 100 kg de concreto. Maiores informações poderão ser obtidas através do Folheto de Aplicação deste produto FDA.

Embalagem

Consultar o manual de embalagens.

Em sacos de papel de 25 kg ou Big Bag de 500 / 1000 kg

Observações

- 1-Senão especificados, os ensaios utilizados foram os da ABNT.
 - 2-Análise Química, propriedades físicas e específicas não fazem parte do controle rotineiro.
 - 3-O ensaio de Análise Química foi realizados conforme metodologia interna.
 - 4-Para informações adicionais sobre segurança, consultar a Folha de Dados de Segurança – FDSP.
 - 5-Dados técnicos obtidos de ensaios realizados em corpos de prova deste produto, proveniente de produções industriais.
- As informações contidas nesta folha poderão sofrer alterações sem aviso prévio. Contatar nossa área comercial.

Anexo 9 – Ficha Técnica Material H^[4]

Descrição

Tijolo refratário isolante com alta resistência mecânica e baixa condutibilidade térmica.

Temperatura máxima de uso 1050°C.

Aplicações principais

Assentamento em revestimento de carro torpedo e painéis de aço.

Análise Química (%)

Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	P ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
6,8	36	24,6	11,8	8,7

Propriedades Físicas e Específicas

DENSIDADE (g/cm ³)	1,20
POROSIDADE APARENTE (%)	53,3%
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO A TEMPERATURA AMBIENTE (MPa)	15,1
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO A 300°C (MPa)	18
500°C (MPa)	17
CONDUTIBILIDADE TÉRMICA A 195°C (W/mk)	0,23
315°C (W/mk)	0,24
600°C (W/mk)	0,31
VARIAÇÃO LINEAR PERMANENTE A 300°C (%)	0,02
500°C (%)	0,07
750°C (%)	0,13
900°C (%)	0,64
1000°C (%)	1,64

Anexo 10 – Ficha Técnica Argamassa Sílica Aluminosa^[4]

Descrição

Argamassa refratária sílico-aluminosa, úmida, de pega ao ar.

Temperatura máxima de uso 1550°C.

Aplicações principais

Assentamento de tijolos sílico-aluminosos e isolantes sílico-aluminosos.

Análise Química (%)

Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O + K ₂ O
Mínimo 40,00	Máximo 55,00	Máximo 3,50	Máximo 2,50	Máximo 4,50

Propriedades Físicas e Específicas

FORÇA LIGANTE APÓS 110°C x 24 h (MPa)	Mínimo 2,0
FORÇA LIGANTE APÓS QUEIMA À 1400°C x 5 h (MPa)	Mínimo 5,0
TEMPO DE RETENÇÃO DE ÁGUA (s)	Mínimo 40
REFRATARIEDADE SIMPLES	Mínimo 23

Condições de Aplicação

Consultar o Folheto de Aplicação deste produto FDA.

Embalagem

Consultar o manual de embalagens.

Baldes, hermeticamente fechados, com aproximadamente 35 kg.

Observações

- 1-Senão especificados, os ensaios utilizados foram os da ABNT.
- 2-Análise Química, propriedades físicas e específicas não fazem parte do controle rotineiro.
- 3-O ensaio de Análise Química foi realizado conforme metodologia interna.
- 4-Para informações adicionais sobre segurança, consultar a Folha de Dados de Segurança – FDSP.
- 5-Dados técnicos obtidos de ensaios realizados em corpos de prova deste produto, proveniente de produções industriais.
- 6-Os ensaios de Força Ligante foram realizados com tijolos sílicos aluminosos.

As informações contidas nesta folha poderão sofrer alterações sem aviso prévio. Contatar nossa área comercial.

Anexo 11 – Ficha Técnica Argamassa Aluminosa^[4]

Descrição

Argamassa refratária aluminosa, seca de pega ao ar, com resistência mecânica desenvolvida, principalmente, a quente.

Temperatura máxima de uso 1700°C.

Aplicações principais

Assentamento de tijolos aluminosos e de alumina-carbeto-carbono.

Análise Química (%)

Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O + K ₂ O	CaO
95,00 / 98,00	Máximo 3,80	Máximo 0,20	0,36	Máximo 0,15

Propriedades Físicas e Específicas

FORÇA LIGANTE APÓS 110°C x 24 h (MPa)	0,5 / 2,5
FORÇA LIGANTE APÓS QUEIMA À 1400°C x 5 h (MPa)	1,0 / 4,5
TEMPO DE RETENÇÃO DE ÁGUA (s)	100/150

Condições de Aplicação

Adicionar 13 / 15 litros de água potável, na temperatura de 20 a 30 °C, para cada 100 kg do produto.

Embalagem

Consultar o manual de embalagens.

É embalado em sacos de papel, com aproximadamente 35 kg líquidos.

Prazo de Estocagem

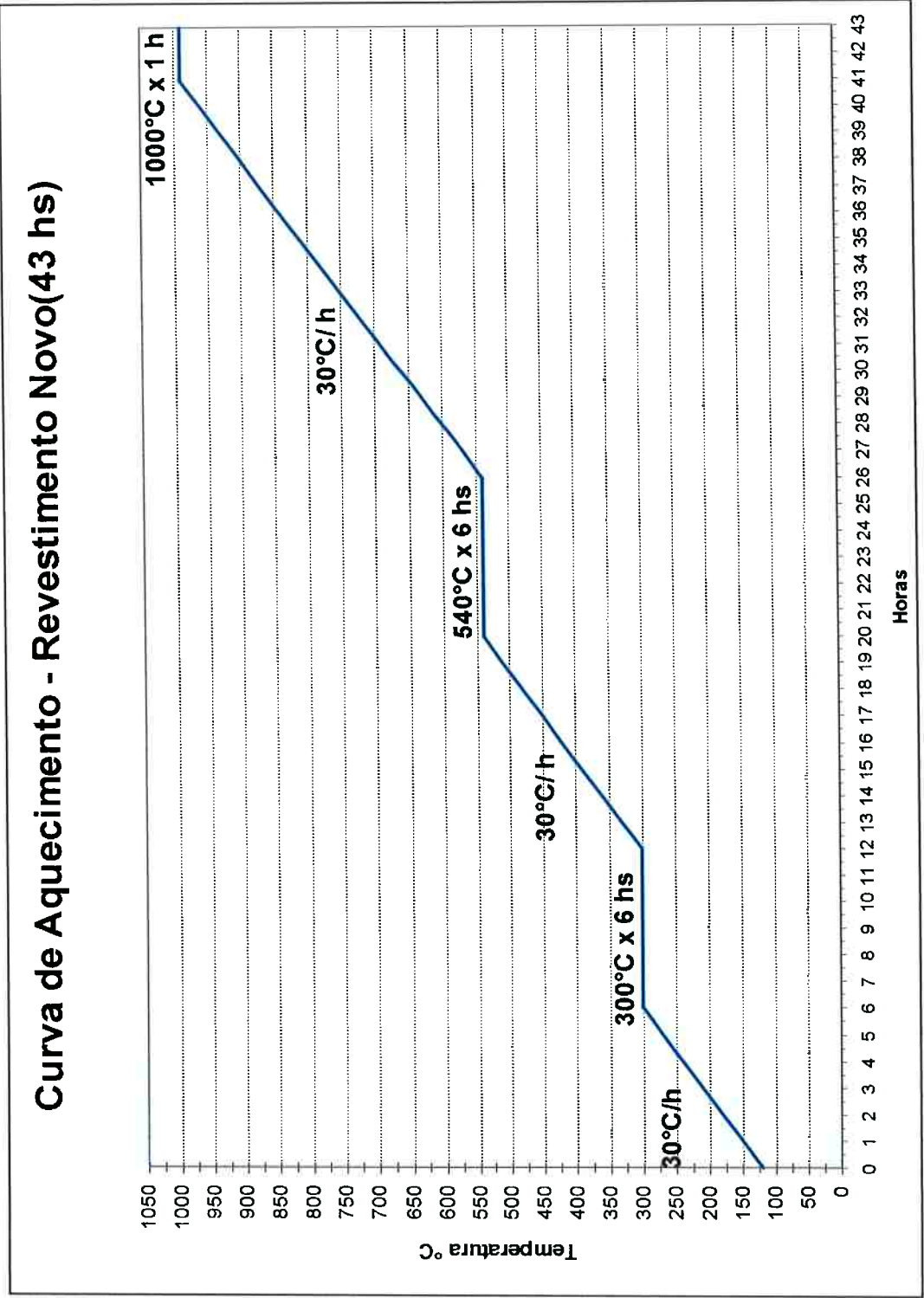
O prazo de estocagem é de 12 meses em sua embalagem original e armazenado em condições adequadas.

Observações

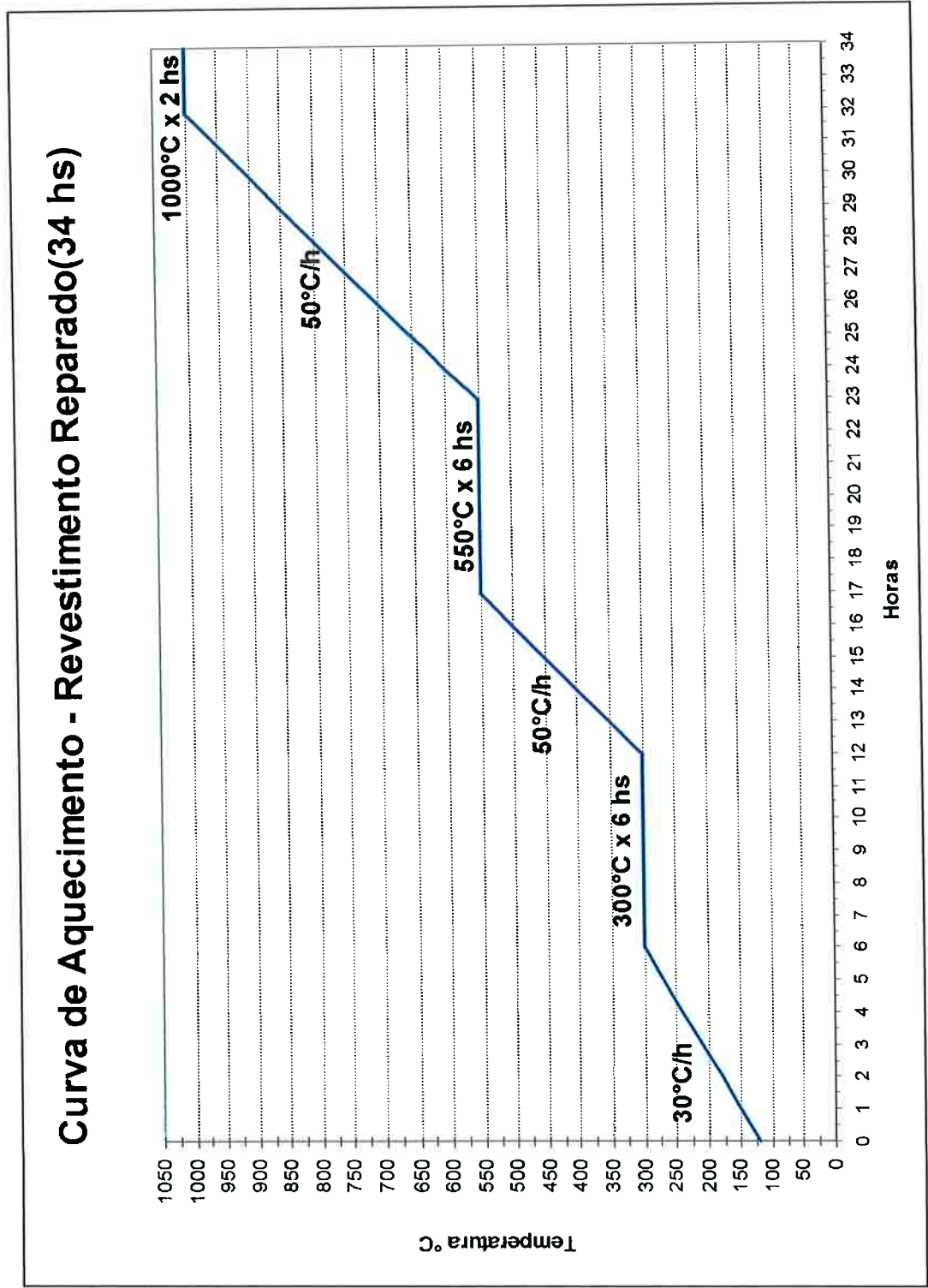
- 1-Senão especificados, os ensaios utilizados foram os da ABNT.
- 2-Para informações adicionais sobre segurança, consultar a Folha de Dados de Segurança – FDSP.
- 3-O ensaio de Análise Química foi realizados conforme metodologia interna.
- 4-Os ensaios de Análise Química e FL (1400°C) não são realizados para controle de rotina.
- 5-Dados técnicos obtidos de ensaios realizados em corpos de prova deste produto, proveniente de produções industriais.

As informações contidas nesta folha poderão sofrer alterações sem aviso prévio. Contatar nossa área comercial.

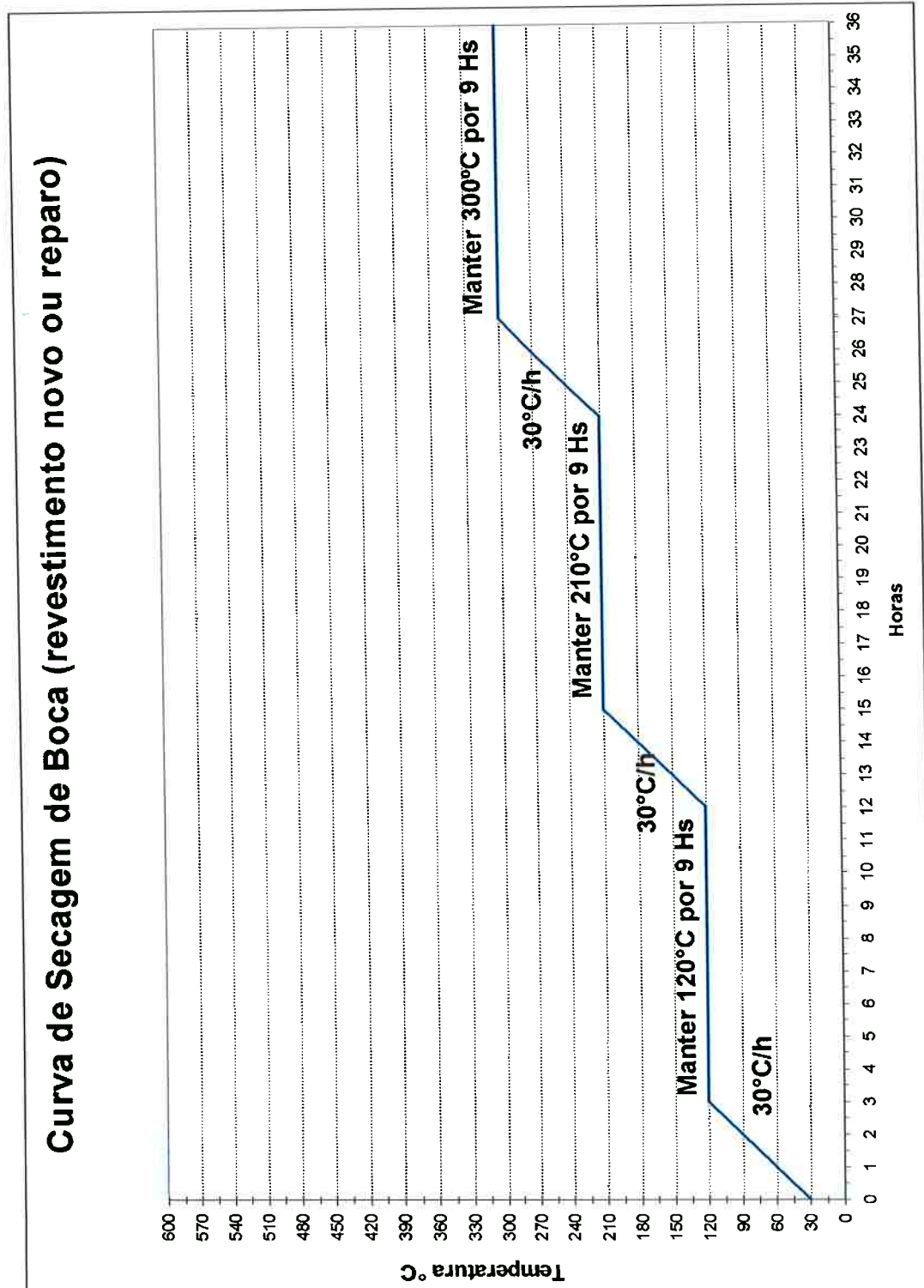
Anexo 12 – Curva de Aquecimento Revestimento Novo ^[5]



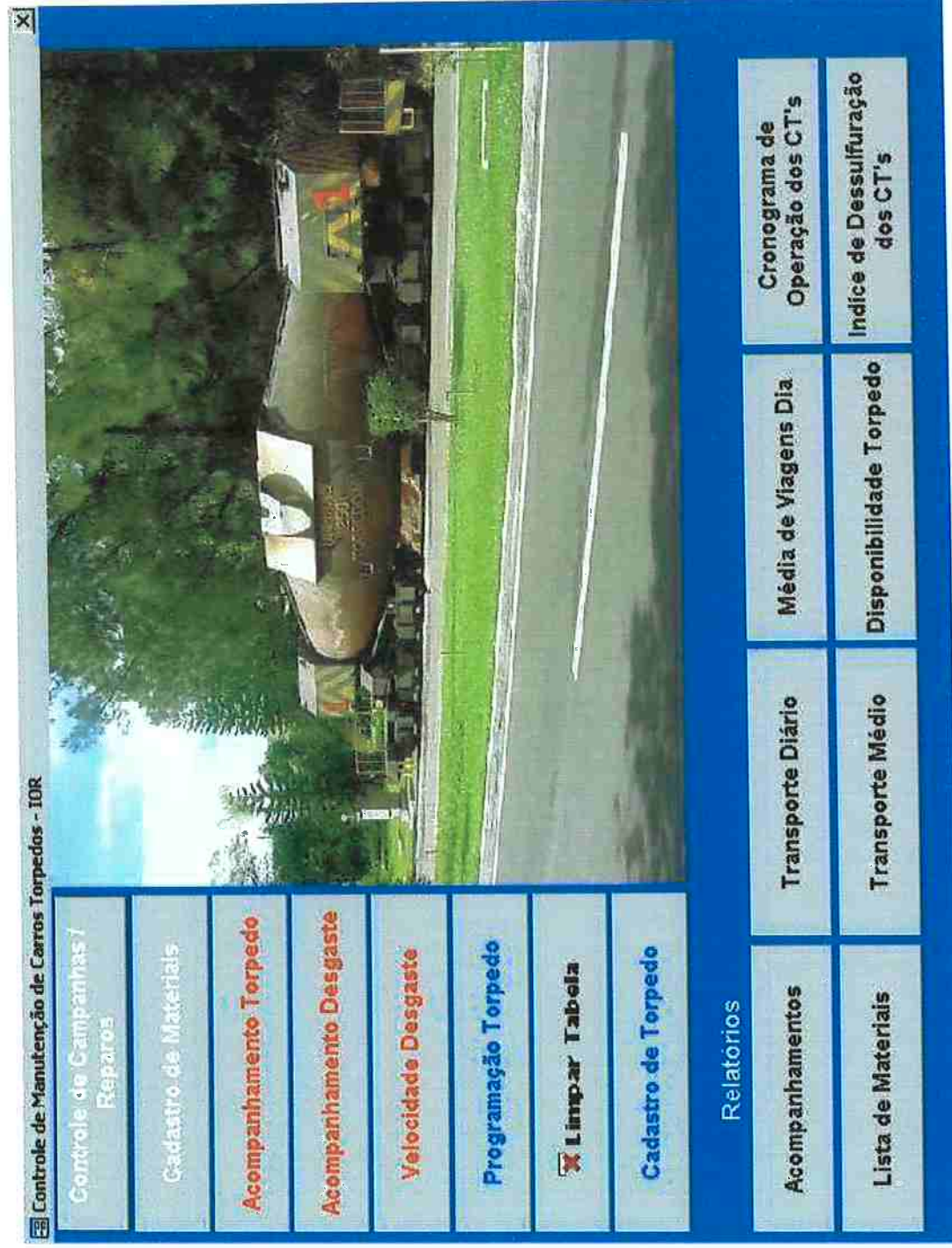
Anexo 13 – Curva de Aquecimento Revestimento Reparado^[5]



Anexo 14 – Curva de Secagem Revestimento Boca^[5]



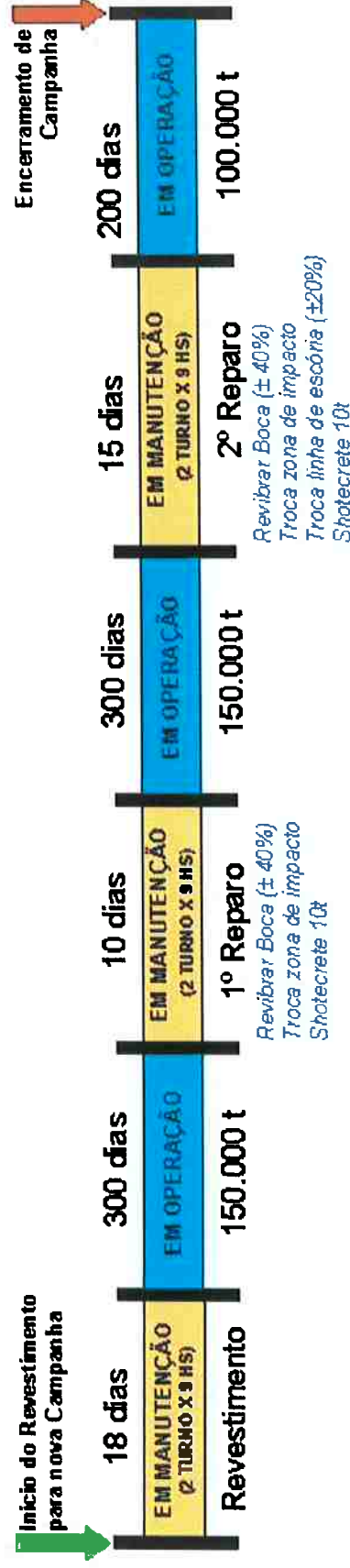
Anexo 15 – Tela Principal do Software de Monitoramento^[6]



Anexo 16 – Modelo de Relatório de Acompanhamento Diário^[6]

Acompanhamento Semanal de Carros Torpedo															15/09/2007
Zoom															
CT	Localização	Campa.	Rep.	Início	Entrada Operação.	Comidas		Gusa Transpor.		Gusa Dessuflu.		Consumo		Material Aplicado	Fabricante
						Período	Camp.	Período	Camp.	Camp.	Índice	Período	Camp.		
01	Ope ração	21/2006	001	09/05/2006	10/05/2007	307	1.043	57.661	204.156	56.378	27,62	0,30	0,54	109.938,40	B
02	Ope ração	21/2006	001	24/07/2006	02/08/2007	85	778	18.866	168.819	39.138	23,18	0,85	0,70	118.693,10	C
03	Ope ração	20/2006	001	27/08/2006	28/08/2007	37	766	7.697	163.466	39.412	24,11	1,10	0,69	112.740,70	C
04	Ope ração	21/2007	000	16/01/2007	16/01/2007	543	543	112.290	112.290	25.903	23,07	0,97	0,97	108.554,40	B
05	Ope ração	20/2005	001	26/09/2006	24/10/2006	683	1.418	163.863	303.841	73.640	24,24	0,11	0,39	119.993,20	A
06	Oftiza	20/2005	002	11/05/2006	12/04/2007	318	1.763	72.687	370.720	71.355	19,25	0,31	0,35	129.338,80	A
07	Ope ração	22/2007	000	26/05/2007	28/05/2007	267	267	51.318	51.318	13.642	26,58	2,02	2,02	103.740,80	B
08	Ope ração	22/2006	001	02/04/2006	08/03/2007	406	1.149	84.742	236.097	68.759	29,25	0,26	0,55	129.213,40	A
09	Ope ração	20/2005	001	26/12/2005	08/01/2007	521	1.238	109.589	261.588	66.547	25,44	0,21	0,48	125.227,40	A
10	Ope ração	21/2007	000	11/07/2007	11/07/2007	154	154	30.396	30.396	8.096	26,63	3,33	3,33	101.076,40	A
11	Ope ração	19/2006	001	07/08/2006	14/08/2007	77	886	16.634	180.208	48.647	26,99	0,56	0,66	118.232,60	B
12	Ope ração	22/2007	000	05/02/2007	05/02/2007	444	444	92.329	92.329	17.976	19,47	1,06	1,06	98.087,10	B
13	Ope ração	17/2006	001	05/07/2006	03/07/2007	164	847	36.998	187.357	44.690	23,85	0,62	0,70	130.811,20	A
14	Ope ração	16/2005	002	15/06/2006	03/05/2007	280	1.610	67.567	364.156	68.805	18,89	0,38	0,40	145.837,50	A
15	Ope ração	17/2006	001	29/01/2006	03/02/2007	505	1.281	115.371	274.452	71.790	26,16	0,17	0,42	116.209,90	A
16	Ope ração	17/2006	000	20/11/2006	20/11/2006	640	640	132.613	132.613	32.056	24,17	0,81	0,81	107.823,30	B
17	Ope ração	18/2007	000	27/08/2007	27/08/2007	39	39	8.398	8.398	1.342	16,98	10,14	10,14	85.122,90	B
18	Ope ração	17/2005	002	10/10/2006	10/09/2007	11	1.376	2.667	296.303	69.664	23,59	0,00	0,39	116.726,30	A
19	Ope ração	18/2005	001	13/12/2006	14/12/2006	547	1.267	137.676	290.924	73.537	25,28	0,14	0,41	118.021,70	A
20	Ope ração	12/2005	002	15/07/2006	26/06/2007	169	1.478	38.018	333.437	67.103	20,12	0,49	0,36	121.554,70	A
21	Ope ração	14/2006	000	26/12/2006	26/12/2006	487	487	101.613	101.613	22.706	22,35	1,07	1,07	108.690,40	B
22	Ope ração	11/2006	000	04/11/2006	04/11/2006	643	643	136.062	136.062	35.579	26,16	0,76	0,76	103.503,00	A
23	Ope ração	10/2007	000	19/03/2007	18/03/2007	380	380	77.900	77.900	16.170	20,75	1,34	1,34	104.389,80	B
24	Ope ração	09/2005	002	27/06/2006	16/05/2007	267	1.581	66.169	360.824	60.326	16,72	0,38	0,38	138.603,00	A
25	Ope ração	10/2006	001	17/07/2006	31/07/2007	88	889	19.349	184.268	45.710	24,81	1,15	0,70	128.913,90	B
26	Ope ração	08/2006	001	16/04/2006	06/04/2007	364	1.070	73.696	224.047	58.210	25,98	0,11	0,52	115.383,00	A
27	Ope ração	06/2006	000	03/12/2006	03/12/2006	592	592	127.091	127.091	27.998	22,03	0,81	0,81	103.588,20	B
28	Ope ração	06/2005	002	24/07/2006	24/07/2007	116	1.540	26.686	330.681	60.894	18,41	1,89	0,50	166.526,50	B

Anexo 17 – Ciclo de Manutenção dos Carros Torpedos – Demonstrativo da Campanha



Total de dias em operação : 800

Total de dias em manutenção : 43

Duração total da Campanha : 843 dias

Índice de disponibilidade para a operação: 94,90 %

Total de gusa transportado na campanha : 400.000 t

Total de refratário aplicado na campanha: 156.185 kg

Consumo específico da campanha : 0,390 Kg refrat./t gusa transp.

Custo de refratário no revestimento : R\$ 452.540,00

Custo de refratário no 1º reparo : R\$ 73.612,87

Custo de refratário no 2º reparo : R\$ 110.829,56

Custo total de refratário na campanha : R\$ 636.982,43

Custo específico do refratário na campanha: R\$ 1,59 refrat. /t gusa transp.

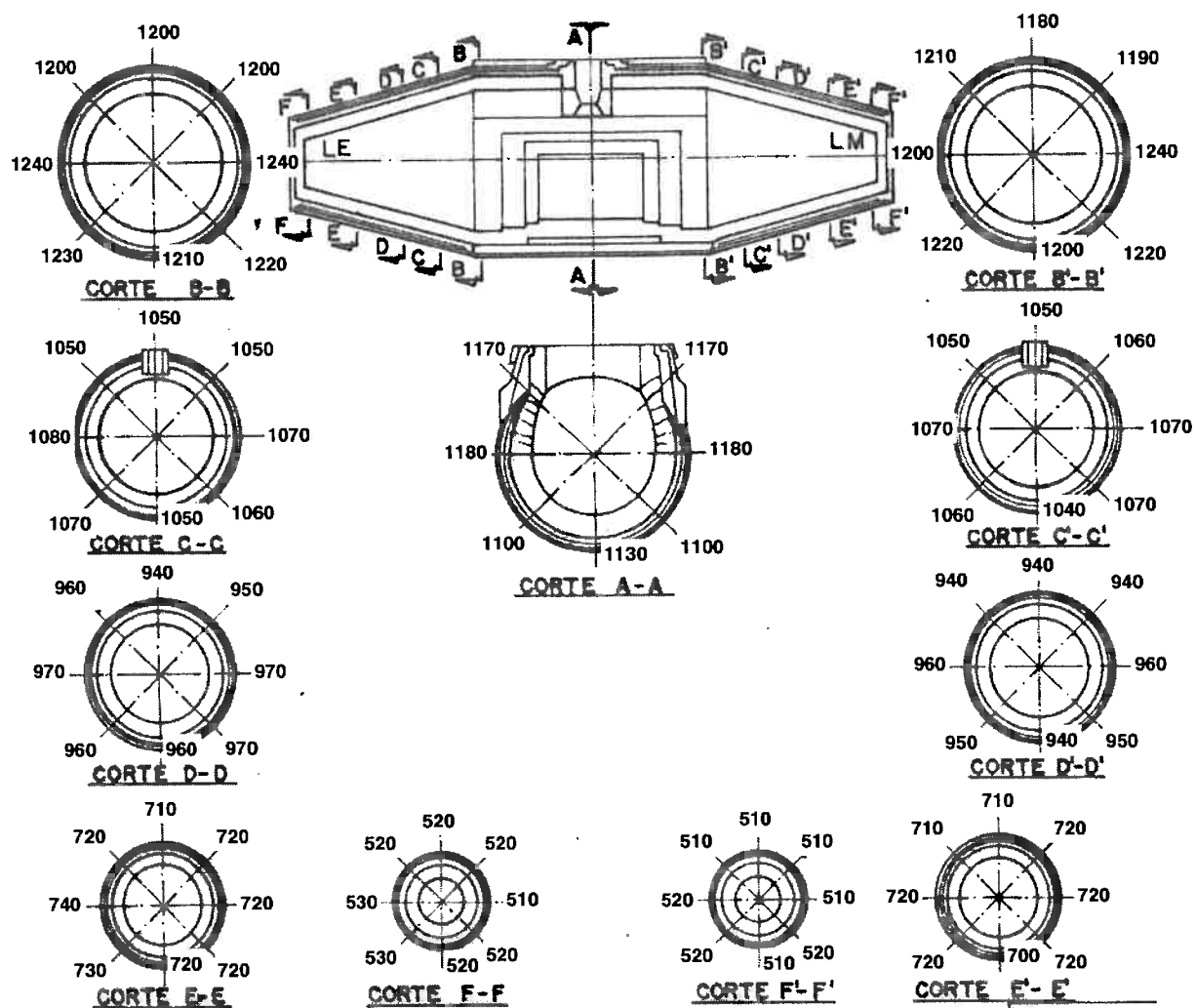
Custo total de mão-de-obra na campanha: R\$ 85759,56

Custo específico de mão-de-obra na campanha: R\$ 0,21 / t gusa transp.

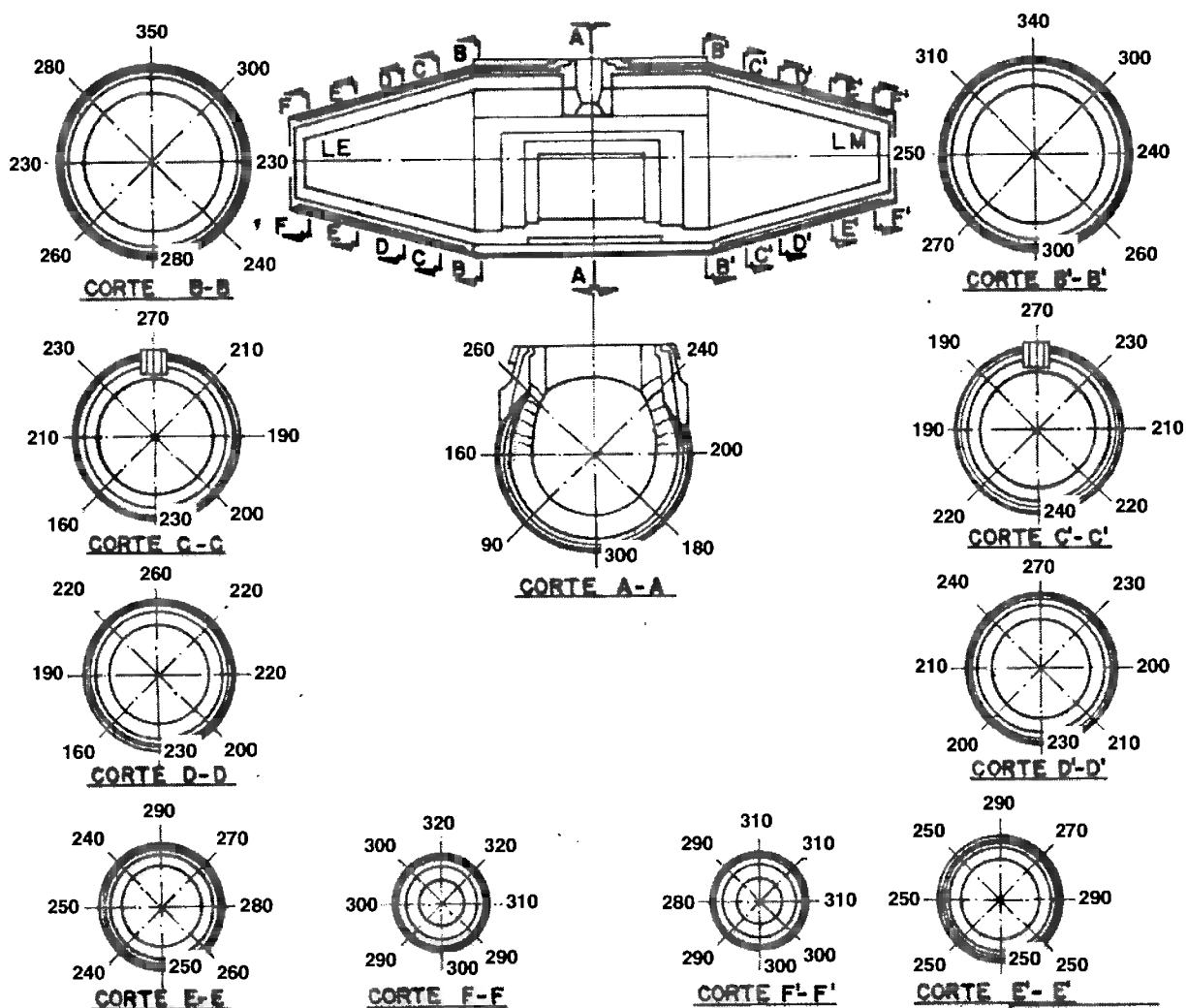
Custo total de refratários e mão-de-obra na campanha: R\$ 722.741,99

Custo específico de refratários e mão-de-obra na campanha: R\$ 1,80 / t gusa transp.

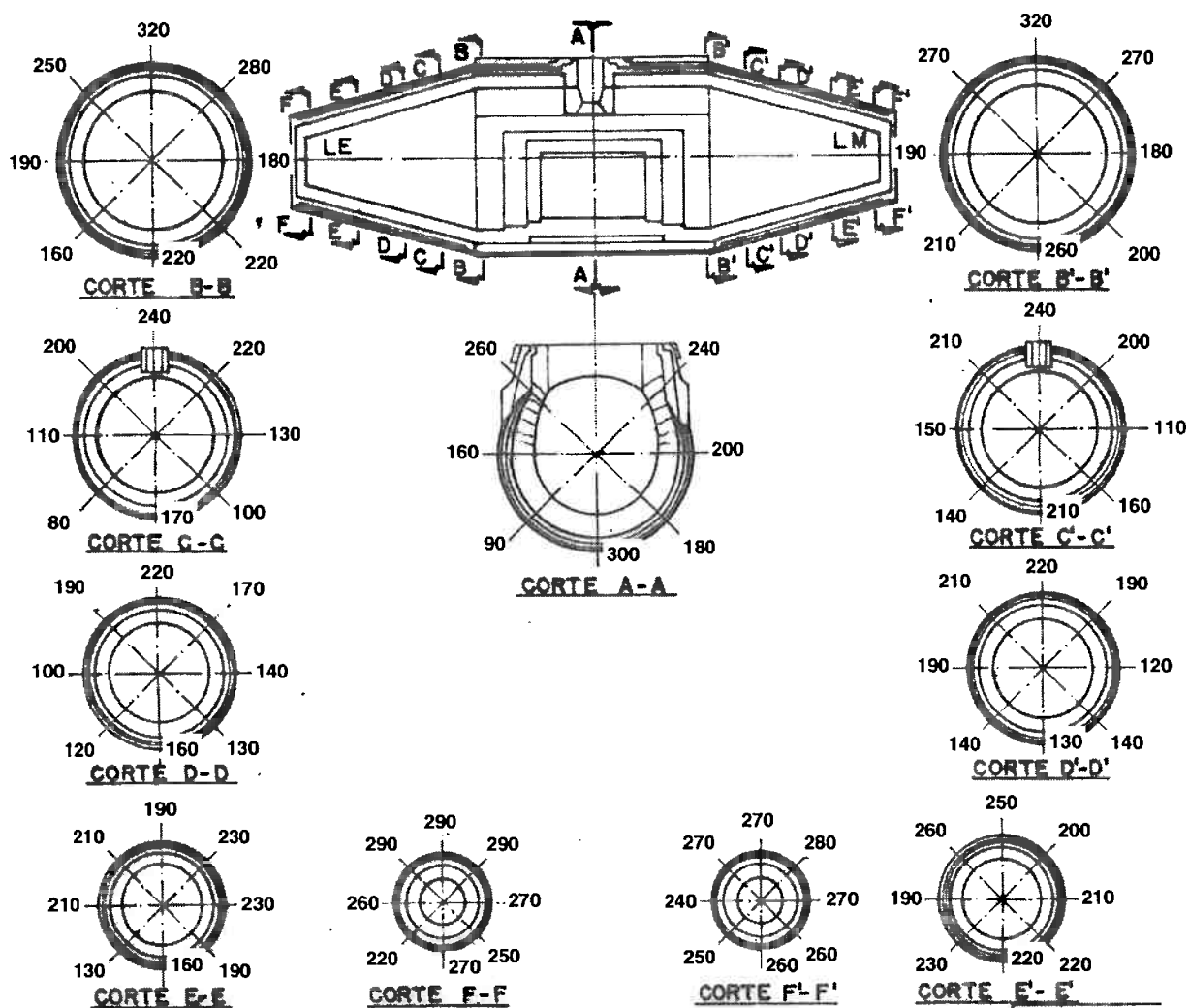
Anexo 18 – Registro das medições de Carro Torpedo – CT 06 (medidas revestimento novo, em 07/05/2005) ^[6]



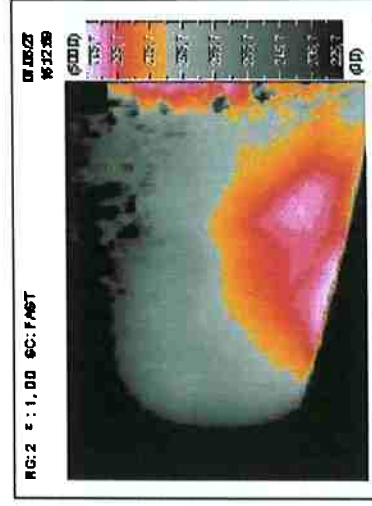
Anexo 19 – Registro das medições de Carro Torpedo – CT 06 (após 150.000 t gusa transportada, em 10/05/2006) ^[6]



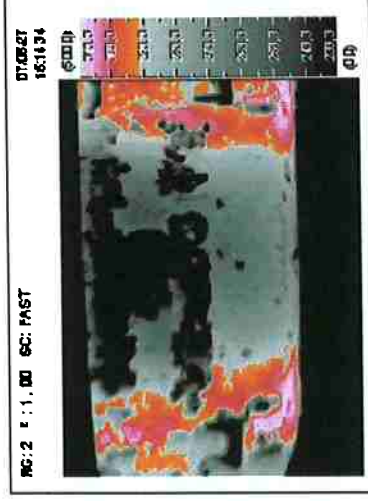
Anexo 20 – Registro das medições de Carro Torpedo – CT 06 (após 300.000 t gusa transportada, em 27/03/2007) ^[6]



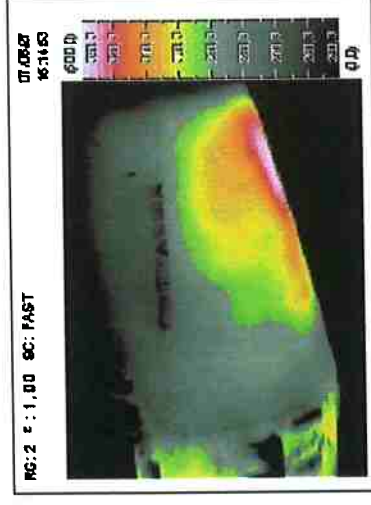
Anexo 21 – Termografia Carro Torpedo após 366.112t de Gusa Transportada



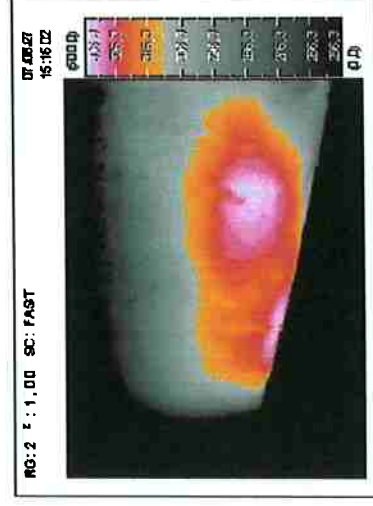
Cone esquerdo lado A
Temp. Máxima: 305,7°C



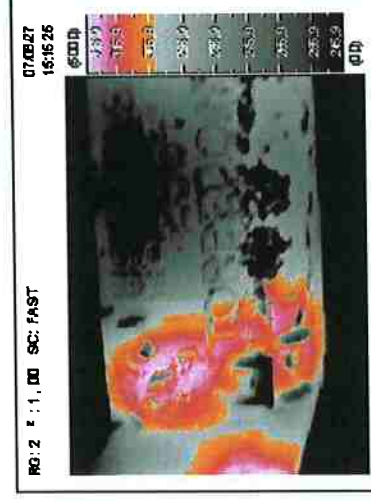
Cilindro lado A
Temp. Máxima: 313,3°C



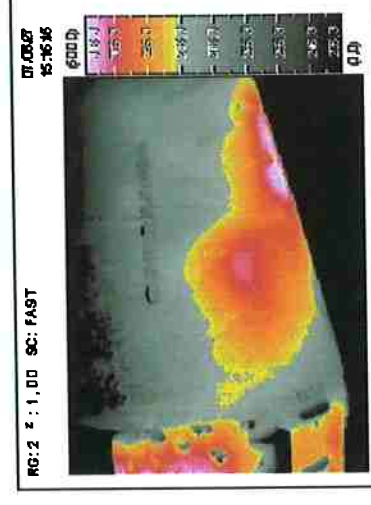
Cone direito lado A
Temp. Máximo: 330,3°C



Cone esquerdo lado B
Temp. Máxima: 336,3°C



Cilindro lado B
Temp. Máxima: 325,9°C



Cone direito lado B
Temp. Máxima: 316,3°C

Anexo 22 – Boletim de Análise de Testes de Material Refratário

		BOLETIM DE ANÁLISE DE MATERIAL REFRAATÓRIO				317/07	
DATA		EMIÇÃO		NOTA FISCAL		NR NÚMERO	
CHEGADA	LABORATÓRIO:		NÚMERO	SÉRIE			
USINA: 04/10/2007	04/10/2007	11/10/2007	2009	ÚNICA	4500074127		
CÓDIGO:	UNID.: TN	MARCA:		QUALIDADE: ARGAMASSA REFRAATÓRIA			
		DATA DE FABRICAÇÃO: 25/09/2007		L. DE APLICAÇÃO: USO GERAL		Nº AMOSTRAS: 0,02	
ENSAIOS				CARACTERÍSTICAS			
				ESPECIFICADO		DETERMINADO	
NORMAS ABNT	AL2O3						
	SiO2						
	Fe2O2						
	Cr2O3						
	CaO						
	MgO						
	SiC						
	K2O+Na2O						
NORMAS JIS R-7212	TEOR DE VOLÁTEIS						
	TEOR DE CINZAS						
	CARBONO FIXO						
MASSA ESPECÍFICA APARENTE APÓS QUEIMA 110°C X 24h (g/cm3)							
QUANTIDADE DE ÁGUA (%)							
POROSIDADE APARENTE (%)							
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO À TEMPERATURA AMBIENTE APÓS 110°C X 24h (Mpa)							
RESISTÊNCIA A FLEXÃO À TEMPERATURA AMBIENTE APÓS 110°C X 24h (Mpa)							
TEMPO DE RETENÇÃO DE ÁGUA (segundos)				≥ 100		108	
UMIDADE (%)				≥ 24,0		25,3	
GRANULOMETRIA (%)		PENEIRAS (mm)					
NORMA ABNT - MB - 278							
ÍNDICE DE EXTRUSÃO (MPa)							
TRABALHABILIDADE (%)							
TEMPO DE PEGA (MINUTOS)							
MASSA ESPECÍFICA APARENTE APÓS QUEIMA 815°C X 5h (g/cm3)							
POROSIDADE APARENTE APÓS QUEIMA 815°C X 5h (%)							
CHOQUE TÉRMICO 1000°C (CICLOS)							
ESCORIFICAÇÃO ESTÁTICO (%)							
CREEP (%) (NORMA ASTM - C - 546)							
REFRAATARIEDADE SOB CARGA (°C)		T1					
(NORMA ABNT - NBR - 6223)		T5					
FORÇA LIGANTE (Kg/cm2) MPa (NORMA ABNT - 19:2.1 - 012)		110°C		≥ 2,0		4,0	
		1200°C					
CIZALHAMENTO (Kg/cm2) MPa (NORMA NSC - 608 E 608)		110°C					
		°C (TEMP. USO)					
RESISTÊNCIA À FLEXÃO À QUENTE 1400°C (Kg/cm2) MPa (NORMA ABNT - P - 19:2.1 - 016)							
CONDUTIBILIDADE TÉRMICA (Kcal/m.h. °C) w/m.K.		350°C					
(NORMA ESPECIAL)		600°C					
		1000°C					

Observação de realização de ensaio:

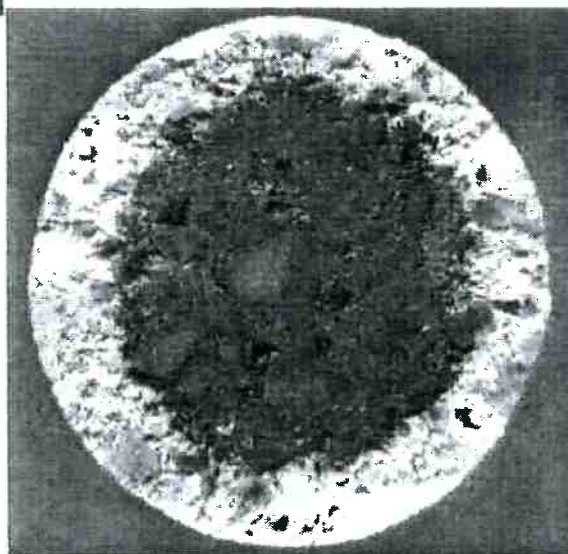
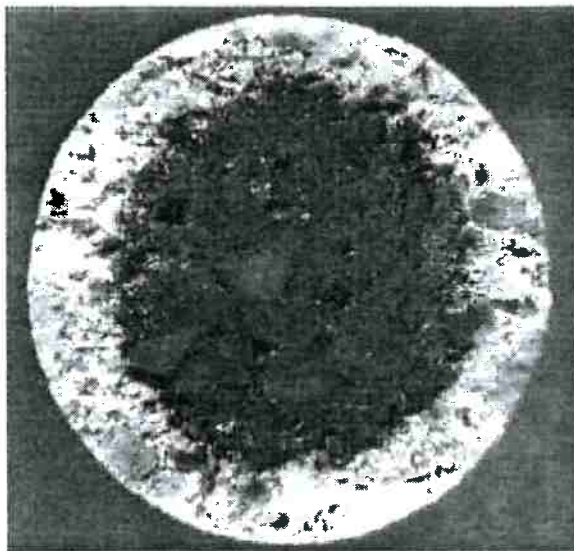
Observações de análise

USUÁRIO: _____

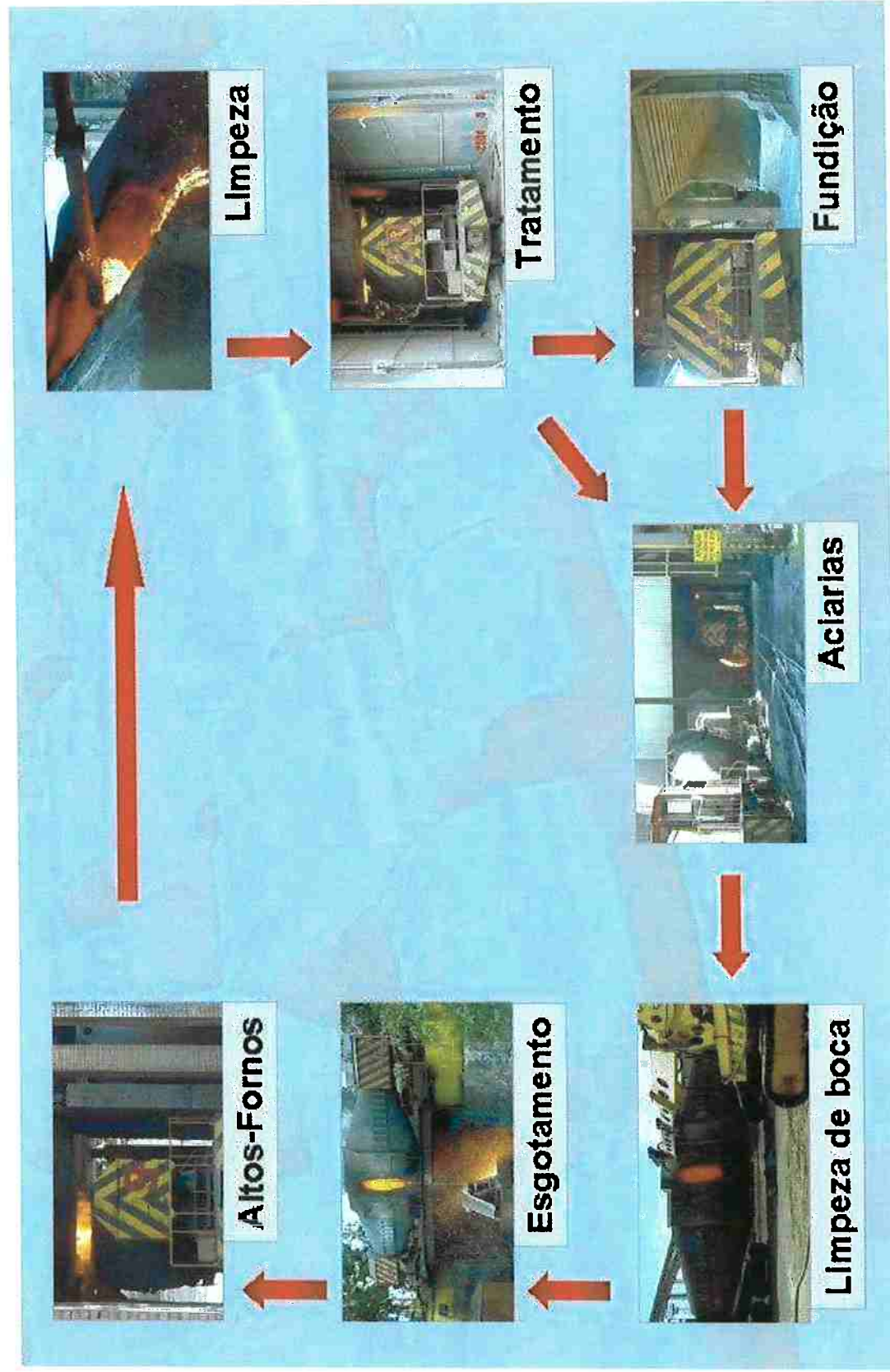
DECISÃO: ACEITAR ☐REJEITAR ☐

____/____/____

**Anexo 23 – Característica Visual dos Corpos de Prova Após o Teste de
Oxidação^[12]**



Anexo 24 – Fluxo de Operação dos Carros Torpedos



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Schacht, Charles A. Refractory handbook. Nova Iorque: Ed. Marcel Dekker, 2004.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8826: Materiais Refratários Terminologia. Rio de Janeiro, 1997.
- [3] USINAS SIDERÚRGICAS DE MINAS GERAIS – S/A. Relatórios de encerramentos de campanhas de carros torpedos. Ipatinga, MG, 1974 a 2007.
- [4] MAGNESITA – S/A. Projeto de revestimento refratário de carros torpedos e fichas técnicas dos materiais. Belo Horizonte, MG, 2007.
- [5] USINAS SIDERÚRGICAS DE MINAS GERAIS – S/A. Procedimento de qualidade SY-3900-Q8PR0682 – Manutenção de refratários em carros torpedos. Ipatinga, MG, 1994.
- [6] _____. Programa de controle de manutenção de carros torpedos, software de monitoramento. Ipatinga, MG, 2007.
- [7] _____. Relatório mensal de resultados. Ipatinga, MG, 2002 a 2006.
- [8] _____. Estudo interno Centro de Pesquisas “Avaliação dos mecanismos de desgastes dos refratários para carros-torpedos”. Ipatinga, MG, 2006.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6220: Materiais Refratários Densos Conformados – Determinação da Densidade de Massa Aparente, Porosidade Aparente, Absorção e Densidade Aparente da Parte Sólida. Rio de Janeiro, 1997
- [10] _____. NBR 9642: Materiais Refratários – Determinação da Densidade da Resistência à Flexão a Quente. Rio de Janeiro, 1997
- [11] _____. NBR 6225: Materiais Refratários Conformados – Determinação da Variação Linear Dimensional – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2001.

- [12] USINAS SIDERÚRGICAS DE MINAS GERAIS – S/A. Procedimento de qualidade SL3900-Q-8PR0183 – Ensaios em materiais cerâmicos. Ipatinga, 1996.
- [13] _____. Manual da Netzsch do equipamento 402 E para testes de expansão térmica. Ipatinga, 1999.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.202: Materiais Refratários – Determinação da Resistência ao Choque Térmico com Resfriamento em água. Rio de Janeiro, 1994.
- [15] _____. NBR 8830: Materiais Refratários – Determinação do ataque por escória pelo método dinâmico, Rio de Janeiro, 1985.
- [16] USINAS SIDERÚRGICAS DE MINAS GERAIS – S/A. Procedimento de qualidade SL3900-Q-8PR0181 – Microscopia ótica de refratários. Ipatinga, 1996.
- [17] _____. Procedimento de qualidade SL3900-Q-8PR0182 – Microscópio esteriocópico. Ipatinga, 1999.
- [18] Quintela, M.A.; Pandofelli, V.C.; Aplicação de concretos refratários por shotcrete (curso de refratários). São Paulo, 2006.
- [19] USINAS SIDERÚRGICAS DE MINAS GERAIS – S/A. Estudo de dimensionamento de carros torpedos para produção anual de 4,8 milhões de toneladas de aço líquido. Ipatinga, MG, 2005.
- [20] Vernilli, Fernando. Prolongamento das campanhas de revestimento refratário dos carros torpedo da CSN. In: Congresso Brasileiro de Cerâmica. 51°. Bahia Othon Palace Hotel, Salvador, 2007.