

ERIKA MARIA SEQUEDA LEÓN

Caracterização metalográfica de barras de ferro da Fábrica de Ferro de Ipanema da
coleção do Museu Nacional do Rio de Janeiro

São Paulo

2015

Departamento de Engenharia
Metalúrgica e de Materiais da
Escola Politécnica da USP

ERIKA MARIA SEQUEDA LEÓN

Caracterização metalográfica de barras de ferro da Fábrica de Ferro de Ipanema da coleção do Museu Nacional do Rio de Janeiro

Trabalho de formatura apresentada à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo.

Área de concentração:
Engenharia Metalúrgica e Materiais

Orientador:
Prof. Dr. Fernando José Gomes
Landgraf.

São Paulo

2015

*Para meus pais Juan e Beatriz por todo
seu esforço, dedicação, amor e apoio.*

*Para Sergio Acevedo por sua paciência,
amor e quer criar muitos mundos com eu.*

AGRADECIMENTOS

A meu orientador o professor Fernando José Gomes Landgraf que com dedicação e entusiasmo orientou este trabalho. Obrigado pelo tempo nas discussões, correções e revisões.

Ao professor Paulo Eduardo Martins Araújo, por sua ajuda na pesquisa de documentos sobre o processo estiriano e posterior tradução.

Ao meus amigos Cassio Junqueira e Elmer Mamani por sua ajuda e orientação durante o tempo de provas no laboratório.

Ao departamento de Relações Exteriores da Universidade Industrial de Santander pela oportunidade do intercambio estudiantil.

A Escola de Engenharia Metalúrgica e Ciência dos Materiais da Universidade Industrial de Santander pela formação académica.

Aos meus pais Juan Sequeda e Beatriz León, por seu apoio neste projeto e por todo seu amor toda minha vida.

A Sergio Acevedo por sua paciência e amor.

RESUMO

Cinco amostras de barras de ferro feitas na fábrica de ferro Ipanema de diferentes tamanhos e geometrias foram analisadas neste relatório. Estas amostras pertencem a uma coleção de objetos com data de entrada ao Museu Nacional de Rio de Janeiro em 1886, foram um obséquio do Coronel Joaquim de Souza Mursa para Pedro II.

Descreveu-se a heterogeneidade da microestrutura, a partir da análise das macrografias de cada uma das amostras do tamanho de grão ferrítico, da microdureza Vickers e finalmente incluindo tipos de inclusões de escória presentes nas cinco amostras.

Para fazer este analise se realizou uma preparação metalográfica, se fiz mosaicos da macroestrutura e microestrutura, além disso, se realizaram provas de micro dureza Vickers, para realizar esta medida cada amostra se dividiu em regiões, os resultados da dureza de cada região são diferentes devido a seu heterogeneidade.

Todas as amostras têm uma grande heterogeneidade microestrutural, sua matriz metálica têm regiões de alto e baixo carbono, as regiões com alto carbono se encontram na superfície das amostras, por esta condição a microdureza varia. As inclusões não metálicas têm uma distribuição na superfície da amostra heterogênea, há áreas mais limpas. Além disso encontraram inclusões com fases vítreas com alta presença de SiO_2 , Ilmenita (FeTiO_3), Faialita ($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) e Wustita (FeO), dependendo do conteúdo de carbono aparecem as fases.

Também se avalia a qualidade do ferro a partir da microdureza para futuramente fazer uma comparação com os ferros importados.

Palavras-Chave: Arqueometalurgia. Caracterização de Inclusões.

ABSTRACT

Five samples of irons bars made at the Ipanema Iron Factory of different sizes and shapes were analyzed in this report. This samples belong to an object's collection of the National Museum of Rio de Janeiro in Brazil with entrance date 1886.

This samples were a present to Pedro II by the coronel Joaquim de Souza Mursa.

The heterogeneity of the microstructure was described by an analysis of the macrostructure of the samples with ferrite grain size, the measure of the Vickers microhardness, and finally, the types of slag inclusions that are present in all the five samples.

For this analysis was made a metallographic preparation, mosaics of the macrostructure and microstructure, also microhardness tests. For all the tests, the samples were divided in regions for a better examination of the heterogeneity.

All the samples present a high microstructural heterogeneity. Their metallic matrix have regions with high and low percentages of coal, the regions with high coal are in the surface of the samples, also by this heterogeneity, the hardness has a high variability too. The non-metallic inclusions has a heterogeneity distribution in the samples, there are cleaner areas. Besides that were find inclusions with phases: vitreous that contains SiO_2 , Ilmenita (FeTiO_3), Faialita ($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) e Wustita (FeO); depending of the percentage of coal and manufacturing method, every phase appears.

Also, this report evaluates, the quality of the iron by the microhardness for in the future made a comparison with other imported irons.

Keywords: Archeometallurgy. Inclusions characterization.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Interpretação metalográfica antes do ataque segundo o livro de Colpaert (17).....	35
Tabela 2. Interpretação metalográfica após do ataque com reativo na seção transversal segundo o livro de Hubertus Colpaert (17)	35
Tabela 3. Resumo da coleção de objetos de fábrica de ferro de Ipanema analisados neste trabalho com sua descrição.....	39
Tabela 4. Micro dureza Vickers amostra 129.	49
Tabela 5. Medidas de dureza divisão pelas regiões amostra 130.....	50
Tabela 6. Resultados medidas de dureza pela divisão em regiões amostra 132.....	51
Tabela 7. Micro dureza Vickers Amostra 133.....	53
Tabela 8. Tabela microdureza por regiões amostra 135.	55
Tabela 9. Medida da fração volumétrica das inclusões amostra 129.	56
Tabela 10. Medida da fração volumétrica das inclusões amostra 130.	57
Tabela 11. Medida da fração volumétrica das inclusões amostra 132.	58
Tabela 12. Medições de Fração volumétrica das inclusões amostra 133.	59
Tabela 13. Medições da Fração volumétrica das inclusões amostra 135.	60
Tabela 14. Resumo das medidas de durezas por regiões nas cinco amostras.....	93
Tabela 15. Distribuição das regiões por porcentagem de carbono.	93
Tabela 16. Fração Volumétrica das Amostras.....	94
Tabela 17. Tabela para determinar dureza Vickers com uma carga de 300g.	104
Tabela 18. Continuação tabela para determinar dureza Vickers com uma carga de 300g.	105

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Real Fábrica de Ferro de Ipanema Hoje.	14
Figura 2. Fábrica de Ferro de Ipanema durante a administração de Varnhagen. (Foto tomada da revista Lemaitre).....	15
Figura 3. Fotografia do complexo de Ipanema destacando o refino. (Fotografia tomada por Durski 1884).	16
Figura 4. Linha do tempo evolução da Fábrica de Ferro do Ipanema.	18
Figura 5. Fábrica de Ferro Hoje, Altos fornos gêmeos.	19
Figura 6. Inclusões em aços fabricados em Ipanema Amostra 135	22
Figura 7. Inclusões alongadas microscopia ótica 100X. (Fotografia tomada por Rafael Rocha Maia 2014).....	23
Figura 8. Inclusão multifásica. Ponto 1 é ferro metálico, ponto 2 ilmenita, ponto 3 wustita, ponto 4 matriz amorfa e ponto 5 composto por faialita. 1500X. Fotografia tomada por Rafael Rocha Maia 2014 (5).	25
Figura 9. Inclusão não metálica com dendritas de wustita numa matriz provavelmente de faialita. Microscópio electrónico de varredura 800X. Fotografia tomada por Rafael Rocha Maia 2014 (5).	26
Figura 10. Detalhe da planta da fábrica de Ferro de Ipanema, mostrando localização da oficina de refino, caldeira e chaminé. Dupré 1885.	30
Figura 11. Planta e elevação do refino, excluindo a chaminé. Mostra a porta do forno em A, o patamar de pré-aquecimento do gusa em B e o solo do forno revérbero para aquecimento para laminação em "S". Dupré 1885.	31
Figura 12. Laminador movido a vapor na segunda metade século XIX. (15)	32
Figura 13. Conjunto de amostras da coleção do Museu da República, em Itu. Os objetos investigados no presente estudo são semelhantes a alguns dos ali exibidos.	37

Figura 14. Figura Caixa da Coleção de Geologia do Museu Nacional contendo 12 objetos de ferro dos quais cinco em duplicata. À fotografia foram superpostas as identificações USP de sete amostras. Pode-se observar as superfícies de fratura de cada uma das amostras (fotografia feita por Augusto C. Neiva, 2014).

Figura 15. Figura. Doze objetos de ferro, dos quais cinco em duplicata, retirados da caixa 22-E da Coleção de Geologia do Museu Nacional. A identificação datilografada que consta na caixa refere-se à Ipanema. Desses 12 objetos foram cortados segmentos de cada tipo. À fotografia foram superpostas as identificações dos sete

<i>objetos com a numeração USP, dos quais foram extraídas amostras. (Fotografia feita por Fernando J.G. Landgraf, 2014)</i>	39
Figura 16. Amostra 129, chapa 25X5 mm. (Fotografia tomada por Cassio Junqueira 2015.)	40
Figura 17. Amostra 130, chapa retangular de seção de 10X4 mm. (Fotografia tomada por Cassio Junqueira 2015.)	40
Figura 18. Amostra 132, barra de diâmetro 8 mm. (Fotografia tomada por Cassio Junqueira 2015.)	41
Figura 19. Amostra 133, Seção transversal quadrada de 12X12 mm. (Fotografia tomada por Cassio Junqueira 2015.)	41
Figura 20. Amostra 133, seção transversal quadrada de 25X25 mm. (Fotografia tomada por Cassio Junqueira 2015.).	42
Figura 21. Macrografia Amostra 129. Se observam zonas atacadas diferentemente.	44
Figura 22. Macrografia Amostra 130, contém regiões atacadas diferentemente, zonas cinzas, brancas e pretas.	44
Figura 23. Macrografia amostra 132, com zonas atacadas diferentemente.	45
Figura 24. Macrografia amostra 133, com regiões cinzas, pretas e brancas.	46
Figura 25. Macrografia Amostra 135.	47
Figura 26. Mosaico Macro amostra 129 divisão em regiões para toma das medidas de dureza.	48
Figura 27. Macrografia amostra 130 divisão das medidas de micro dureza Vickers.	49
Figura 28. Mosaico amostra 132 divisão das medidas de micro dureza Vickers.	50
Figura 29. Mosaico amostra 133 divisão de regiões para medida de micro dureza Vickers.	52
Figura 30. Mosaico amostra 135 divisão para as medidas de micro dureza Vickers	54
Figura 31. Mosaico Amostra 129.....	61
Figura 32. Micrografia em 100X da região I na divisão da amostra 129 para o mapeamento das inclusões.....	62
Figura 33. Micrografia da região II em 100X mostrando grãos equiaxiais de ferrita (fase clara) e um conglomerado de inclusões.....	62
Figura 34. Micrografia da região III na divisão no mapeamento das inclusões, há presente alta quantidade de perlita.	63

Figura 35. Inclusões Amostra 129 1000X, se observam duas fases: vítreo e ilmenita.	64
Figura 36. Inclusão Amostra 129 1000X, com presença de wustita, faialita e uma fase vítreo.....	65
Figura 37. Amostra 129 Região II 500x, se observam dois fases: wustita e fase vítreo.	66
Figura 38. Amostra 129 Região II 1000x.....	67
Figura 39. Inclusão amostra 129 Região III 1000X.....	67
Figura 40. Inclusão amostra 129 Região III 1000X.....	68
Figura 41. Mosaico Amostra 130.....	68
Figura 42. Inclusão amostra 130 região I 500X, com duas fases presentes faialita e vítreo.	69
Figura 43. Inclusão amostra 130 região I 500X. Com três fases presentes wustita, faialita e vítreo.	70
Figura 44. Inclusão amostra 130 região II 1000X com presença de wustita e faialita.	70
Figura 45. Inclusão amostra 130 região II 1000X.....	71
Figura 46. Inclusão amostra 130 1000X.....	72
Figura 47. Inclusão amostra 130 região III 1000X.....	72
Figura 48. Mosaico amostra 132 com a divisão das regiões pelo conteúdo de perlita para o mapeamento de inclusões.	73
Figura 49. Inclusão amostra 132 com presença de três fases, ilmenita, wustita em forma dendrítica e faialita presente em duas fases. 500X.....	74
Figura 50. Inclusão amostra 132 500X, com presença de faialita e wustita	74
Figura 51. Inclusão amostra 132 com duas fases faialita e wustita. 500X	75
Figura 52. Inclusão amostra 132 1000X.....	76
Figura 53. Inclusão amostra 133 1000X.....	76
Figura 54. Inclusão amostra 132 1000X, mostrando duas fases: vítreo com conteúdo de SiO_2 e wustita.....	77
Figura 55. Mosaico amostra 133 mostrando a divisão com três regiões pelo conteúdo de perlita.....	78
Figura 56. Inclusão amostra 133 1000X.....	79
Figura 57. Inclusão amostra 133 1000X.....	79
Figura 58. Inclusão Amostra 133 1000X.	80

Figura 59. Inclusão Amostra 133 1000X.....	81
Figura 60. Inclusão amostra 133 1000X.....	82
Figura 61. Inclusão amostra 133 1000X.....	82
Figura 62. Mosaico amostra 135.....	83
Figura 63. Inclusões amostra 135 1000X.....	84
Figura 64. Inclusão amostra 135 1000X.....	84
Figura 65. Amostra 135 1000X, se podem observar duas fases na inclusão, uma fase de faialita e a outra de wustita.....	85
Figura 66. Inclusão amostra 135 500X.....	86
Figura 67. Inclusão amostra 135 1000X.....	87
Figura 68. Inclusão amostra 135 1000X.....	87
Figura 69. Inclusão amostra 135 1000X, com presença de duas fases, vítreas e wustita.....	88
Figura 70. Inclusão amostra 135 1000X.....	89
Figura 71. Inclusão amostra 135 1000X.....	89
Figura 72. Inclusão amostra 135 1000X.....	90
Figura 73. Inclusão amostra 135 1000X com duas fases presentes.....	91

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1.Fábrica de ferro São João de Ipanema.....	14
1.2. A Coleção de Objetos.....	19
1.3. A qualidade dos produtos de Ipanema.....	20
1.3.1. Discussão da qualidade do ferro de Ipanema.....	20
1.3.2.Importância de entender a heterogeneidade da distribuição de inclusões.....	21
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1. Inclusões em objetos produzidos antes dos processos Bessemer e S-M.	23
2.1.1. A presença da escória nas inclusões.....	23
2.2. Processos de refino	26
2.2.1. Pudlagem.....	27
2.2.2. Processos de refino a carvão vegetal.....	28
2.3. Processo de conformação do barras no século XIX.....	32
2.3.1. Laminação	32
2.3.2. Forja.....	33
2.4. Macroestrutura de produtos de ferro século XIX.....	34
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
4. RESULTADOS	44
4.1. MACROGRAFIAS	44
4.2. MICRODUREZA	48
4.3. FRAÇÃO VOLUMÉTRICA DAS INCLUSÕES	56
4.4. MAPEAMENTO DAS INCLUSÕES.....	61
5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS	92
6. CONCLUSÕES	97

7. ANEXOS	99
7.1. ANEXO I TRADUÇÃO PROCESSO ESTIRIANO EM UMA SÒ FUSÃO	99
7.2. ANEXO II TEXTO ORGINAL EM FRANCÊS, PROCESSO DE ESTIRIANO EM UMA SÓ FUSÃO	101
7.3. ANEXO II TABELAS PARA DETERMINAR A DUREZA VICKERS. (20)	104
8. BIBLIOGRAFÍA	106

1. INTRODUÇÃO

1.1. Fábrica de ferro São João de Ipanema.

No final de século XVI, Affonso de Sardinha, um paulista, descobriu jazidas de mineiro de ferro no morro de Araçoiaba, uma montanha isolada no meio de uma região pouco acidentada, mais exatamente localizada no interior de São Paulo, próximo a Sorocaba.

Ele instalou duas forjas para a fabricação de ferro pelo método direito. Esta ação é conhecida como o primeiro intento de fabricação do ferro em América do Sul.

Em 1681, Luiz Lopes de Carvalho capitão-mor de Itanhaém se apresentou como descobridor da jazida e a entregou a câmara da vila de Sorocaba-



Figura 1. Real Fábrica de Ferro de Ipanema Hoje.

No século XIX Rodrigo de Souza Coutinho ministro da coroa portuguesa a cargo de Don João VI encarregou para a Varnhagen e Martim Francisco de Andrada e Silva de iniciar uma fábrica do ferro onde utilizasse-se o mineral do morro de Araçoiaba. (1)

Se viu a necessidade de que se trazer técnicos da Europa com experiência em siderurgia.

A empresa foi iniciada em 4 de Dezembro de 1810, em ordem do príncipe regente por meio de uma carta régia: Ordenando-se “Fundar no Brasil estabelecimentos de minas de ferro na maior extensão possível que puseram dar ferro e servir de base a todas as manufaturas do mesmo metal só para o consumo do Brasil, mais ainda para servir de objeto de exportação...”. A fábrica contou com 13 ações da corona portuguesa e 47 ações para particulares de São Paulo, do Rio de Janeiro e Bahia (2).

Além da presença das jazidas de ferro a fábrica estava numa ubiquação privilegiada, havia abundância de madeira e água, que foram importantes para a alimentação dos fornos e a força motriz por excelência respectivamente, isto até mediados do século XIX.

Em 1815 o alemão Varnhagen começou a construção os altos fornos e forjas de refino que foram inaugurados em 1818, na figura 2 (22) se pode ver a organização da fábrica se ferro nessa época. Em 1821 essa administração, se retirou para Portugal.

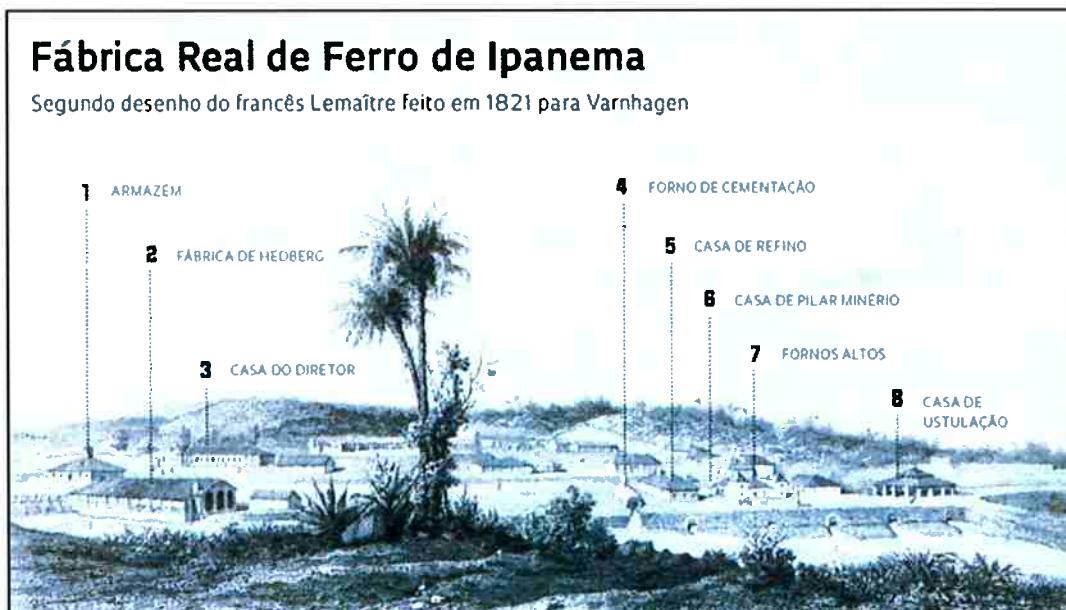


Figura 2. Fábrica de Ferro de Ipanema durante a administração de Varnhagen. (Foto tomada da revista Lemaître)

Em 1860 a fábrica foi fechada por ordem do governo e remetidos grande parte do pessoal e material para a província em Mato- Grosso onde devia ser fundada outra,

isso nunca se realizou, mas toda a informação e peças históricas que tinham foi extraviada. Até hoje não se conhece o que aconteceu com esse material.

Foi reorganizada em 1864, chegando a produzir até 3 toneladas diárias de ferro cinzento fundido e uma tonelada de ferro batido por ano.

De 1860 a 1890 a fábrica teve uma época brilhante a cargo do Coronel Joaquim de Souza Mursa na direção.

Ele tomou a fábrica numa decadência convertendo-a num centro puramente industrial dando como resultado ferros de todas as classes de boas propriedades e com amplias aplicações.

Todas as melhorias nas atividades da fábrica de São João do Ipanema feitas pelo Coronel Mursa aportaram ao crescimento industrial e econômico da empresa, fazendo desta siderurgia uma referência no país, esse momento da história foram as melhores.

Ele introduziu uma oficina de maquinas, de uma roda hidráulica de força efetiva de doze cavalos de vapor com suas rodas dentadas para a velocidade, simultaneamente construiu também, um canal que conduz agua, sua organização se pode ver na figura 3. (3)

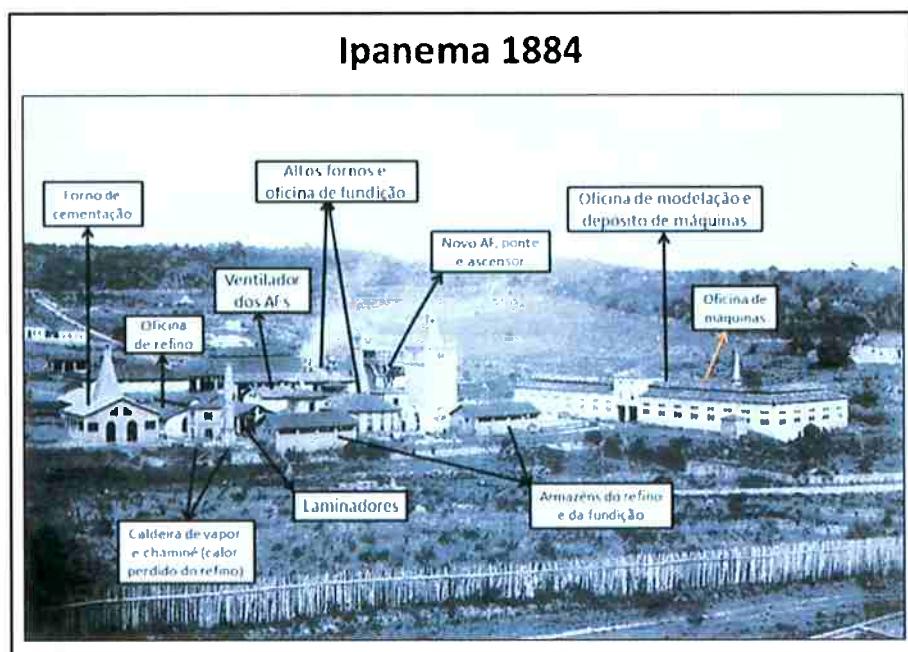


Figura 3. Fotografia do complexo de Ipanema destacando o refino. (Fotografia tomada por Durski 1884).

Além disso, fez outras melhoras na fábrica, como:

- Edifício e forno para a fabricação do ferro cimentado.
- Reservatório subterrâneo para reunir o vento dado pelos insufladores.
- Canais subterrâneos para conduzir o calor perdido dos fornos altos, para estufas de secar lenha.
- Edifício que cobre estas estufas, tendo 39 metros de comprimento e 25 de largura, também foi para abrigar as matérias para o alto forno.
- Construção de um insuflador composto de três cilindros, destinado ao oficina do refino.

Também o coronel Murza fez um planejamento de preservação da zona florestal de maneira que a conservar as matas existentes e tratar do plantio de novas, procurando assim, não só o benefício da empresa em mas também criando uma conscientização pelo meio ambiente.

A estrutura da fábrica dessa época estava dividida pelas oficinas:

1. Fundição e fornos altos.
2. Refino
3. Maquinas e ferraria.
4. Modelação.
5. Carpintaria.

Todos estes trabalhos dependeram da atividade de outros serviços “anexos” que foram a extração e preparação do mineiro e fundentes, corte e preparação do combustível e o transporte destas materiais às oficinas.

Adicionalmente, se garantiu trabalho digno para os trabalhadores.

Pretendia-se aumentar a produção de ferro fundido a 20 toneladas e 10 toneladas diárias de ferro batido, mais isso nunca aconteceu, já que a direção da fábrica passou a mãos do ministério de agricultura. A fábrica foi reaberta em 1917 para fechar suas operações definitivamente em 1927 (4). Na figura 4 se pode observar uma linha do tempo da evolução da Fábrica de Ferro de Ipanema (3) (21).

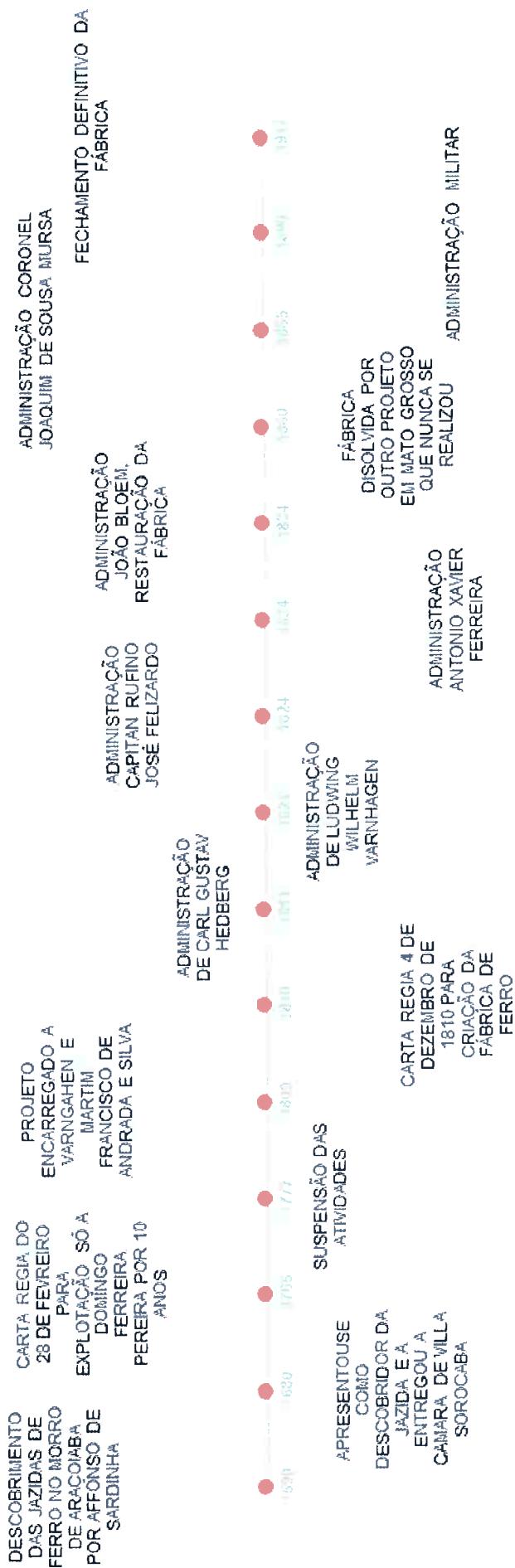


Figura 4. Linha do tempo evolução da Fábrica de Ferro de Ipanema.

1.2. A Coleção de Objetos.

A Real Fábrica de Ferro São João de Ipanema operou mais de cem anos e sua história tem um pouco mais de 330 anos, ainda se conservam muitos objetos e estruturas feitos lá. Ainda, muito tempo depois que a fábrica foi abandonada seu estrutura e objetos utilizados na produção de ferro se encontraram em boas condições. As ruínas da fábrica se encontram na Floresta Nacional de Ipanema e em 2005 foi realizada uma restauração para poder abri-la ao público.

Os fornos gêmeos do Ipanema que ainda se encontram erigidos como um monumento, construídos por Varnhagen, foram reformados em 1895, propiciando para construir o forno cônico em 1917. Na figura 2 se pode apreciar os fornos gêmeos na atualidade, O ferro de Ipanema foi considerado o melhor do mundo despois de uma exposição em Rio de Janeiro e onde o qualidade do produto de ferro foi superior à muitos feitos em Europa (3).

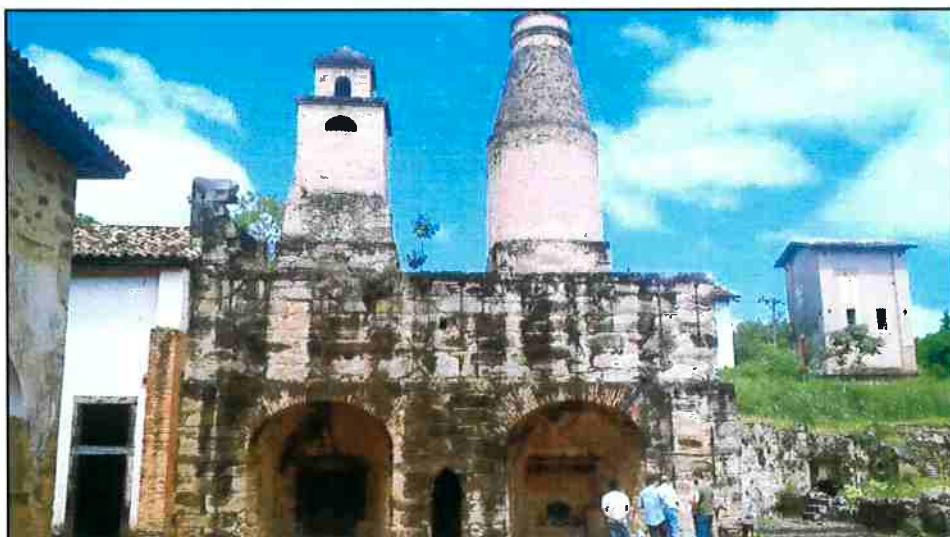


Figura 5. Fábrica de Ferro Hoje, Altos fornos gêmeos.

Em dezembro de 2014, o Museu Nacional disponibilizou pequenos fragmentos retirados por corte de objetos uma coleção datada de 1886 que são referenciados a Ipanema, também existem outro conjunto de objetos de 1890, no Museu de República em Itu. Estudos prévios concluíram que as peças de Ipanema tem um teor alto de titânio (5). Cinco peças de essa coleção são analisadas neste Trabalho.

A coleção de objetos do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da USP abriga dezenas de objetos, nos quais se encontram ferro gusa, barras, e objetos de ferro forjado ou laminado que são reunidos em quatro grupos:

- Objetos coletados pela arqueóloga Margarida Andreatta em 1983, no sítio Sardinha, às margens do Ribeirão do Ferro, na encosta do morro de Araçoiaba.
- Objetos coletados pela mesma arqueóloga em 1983, em vários lugares do conjunto arquitetônico da Fábrica de Ferro de Ipanema, que fica às margens do rio de mesmo nome, em outra encosta do morro de Araçoiaba.
- Objetos coletados por alunos da USP em visitas entre 2006 e 2010, nos entornos dos Altos Fornos de Ipanema.
- Objetos de coleção do Museu Nacional, registrados como relativos à Fábrica de Ferro de Ipanema, com referência a 1886 como data de entrada no Museu. Esses objetos são muito semelhantes a outro conjunto de objetos de Ipanema acondicionados numa caixa de madeira, da Coleção do Museu Republicano de Itu, com menção a sua doação ao Presidente do Estado de São Paulo Prudente de Moraes, em 1890, com identificação original na caixa. (6)

1.3. A qualidade dos produtos de Ipanema

1.3.1. Discussão da qualidade do ferro de Ipanema.

A qualidade do ferro de Ipanema foi criticada na imprensa brasileira em diversas ocasiões. Ao mesmo tempo, o diretor da Fábrica, coronel Musa, defendia que as ferrovias brasileiras deviam usar material lá fabricado. Nessas circunstâncias, uma das mais importantes ferrovias brasileiras da época, a companhia Paulista de Estradas de Ferro, incluiu um relatório técnico dentro do relatório da diretoria da Companhia Paulista para a sessão da assembleia geral de 26 de Agosto de 1883, intitulado “Fábrica de Ferro S. João de Ipanema”.

O texto completo está no anexo. O relatório diz que a empresa ofereceu ao Governo Geral uma redução de 10% no preço do frete dos produtos que saiam da Fábrica de Ferro, em relação ao preço de produtos similares de outras procedências e decidiu dar preferência aos produtos de Ipanema. Para isso fez

uma comparação entre as propriedades mecânicas do ferro de Ipanema com “ferro inglês”. Concluiu, na comparação, que o ferro inglês tinha maior resistência mecânica e menor ductilidade (menor “redução de área e extensão”). Concluindo se o ferro inglês mais duro que o ferro de Ipanema, fez também uma constatação interessante, de que o ferro inglês tem “cristais maiores do que o ferro de Ipanema”. O relatório também afirma que o ferro de Ipanema é de qualidade tão boa quanto ao ferro da Suécia e da Russia. Para ser mais amplamente usado, entretanto, o relatório recomenda que Ipanema faça ferro mais duro e com preço menor, pois custa 33% mais caro que o ferro inglês.

Poucos dias após a edição do relatório de acima, a Revista de Engenharia publicou quase na íntegra o relatório, acrescido de uma explicação do Coronel Mursa sobre a questão do preço do ferro. Escreveu “suponho que no Brasil ninguém tem a pretensão de produzir ferro mais barato de que se fabrica e vende na Inglaterra o ferro comum. Outros países onde a indústria metalúrgica é poderosa não podem fazer”. Apesar disso, o ferro de Ipanema é vendido a 180.000 reis a tonelada, enquanto o melhor ferro inglês custa, na Inglaterra 132.000 reis a tonelada, chegando a custar, no Brasil, 230.000 réis a tonelada (1).

1.3.2. Importância de entender a heterogeneidade da distribuição de inclusões.

É importante conhecer a composição para poder identificar seu lugar de origem já que cada ferro tem uma característica única com a que se pode rastrear seu sitio de fabricação, além disso, pelo aspecto das inclusões se pode buscar informações sobre o processo de fabricação usado na época.

Os objetos fabricados pela fábrica de ferro do Ipanema têm uma característica particular um teor de titânio e vanádio que é importante e particular para o rastreamento dos objetos fabricados em Ipanema (5).

A presença de titânio no minério de Ipanema é reconhecida desde 1980, em análises feitas na Escola de Minas de Ouro Preto. Maia identificou alto teor de titânio em fase idiomórfica presente nas inclusões de escória, como observa-se na figura 6.

Este elemento químico encontrou-se presente no minério de Araçoiaba fazendo assim presença nas inclusões que dão a forma particular nas inclusões no ferro fabricado em Ipanema.

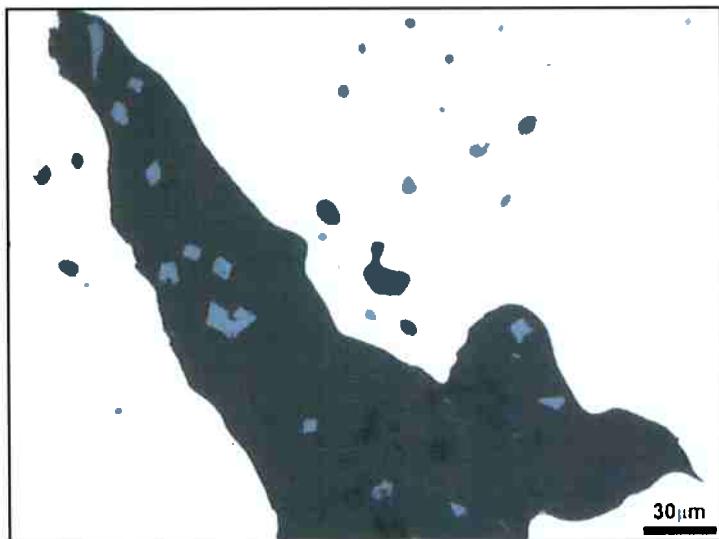


Figura 6. Inclusões em aços fabricados em Ipanema Amostra 135

O titânio se encontra presente nas inclusões (5) devido ao processo de fabricação na fábrica como a pudlagem e o processo de estiriano que resultava de aprisionamento da escória no interior do ferro metálico. Outras fases presentes nas inclusões são a matriz escura, formada por silicatos, e as dendritas claras (figura 6) que é óxido de ferro.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Inclusões em objetos produzidos antes dos processos Bessemer e S-M.

2.1.1. A presença da escória nas inclusões.

A formação de inclusões depende de muitos fatores: composição química do mineiro, refratário do forno, dos fundentes e do combustível; isto é o que indica o origem do ferro.

As Inclusões se formaram a partir da ganga do mineiro, eram produzidas pela escória, em objetos antigos, como os presentados neste trabalho, têm um pouco más de 11% de escória, esta composição de forma específica, dá uma ideia do origem da peça já que cada lugar tem em seus minerais uma característica única. Esta presença de Inclusões se dá pela redução direta e indireta.

As inclusões eram formadas pelo refino que até fins do século XIX mediante laminação ou forjamento, uma maior parte da escória era removida pelos estes métodos, mais uma mínima quantidade quedava capturada no metal influindo em suas propriedades, ficando todo o processo, tendo ao final umas formas alongadas, como se mostra na Figura 7.



Figura 7. Inclusões alongadas microscopia ótica 100X.
(Fotografia tomada por Rafael Rocha Maia 2014).

A operação invariável dos fornos, a variação da composição do mineiros e os fundentes contribuíam na variação no potencial de redução e oxidação se formando equilíbrios entre na escoria e o metal fazendo que a quantidade de escoria fica-se no material depois das operações de forjamento ou laminação.

Os elementos que conformam a composição química das inclusões fazem que mude seu ponto de fusão fazendo a escória líquida na temperatura de forjamento formando uma fase vítrea contendo um conjunto de óxidos de silício, alumínio, titânio, entre outros.

Pela redução direta a composição das inclusões depende da temperatura de trabalho e do agente redutor:

- Se o metal se trabalha a temperatura baixa e seu agente redutor é CO/CO₂, seu potencial redutor é baixo, e a fase resultante é abundante em FeO, e adota forma de cristais dendríticos da fase wustita, além, tende apresentar um baixo teor de carbono, conformado unicamente de grãos ferríticos.
- Se o metal se trabalha a temperatura alta, e seu agente é CO/CO₂ a fase metálica se torna rica em carbono, però pobre em FeO. Se houver SiO₂ aparece na fase faialita, normalmente sua matriz metálica aparece como ferro perlítico.
- Se o metal se trabalha a temperaturas intermediárias se forma uma matriz ferrítica-perlítica com inclusões de escórias com wustita e faialita vítreas.
- Sempre a redução dá como resultado FeO, mas este é enriquecido pelos outros elementos químicos presentes. Pode-se formar também fases intermediárias como faialita, hercynita, fosfatos ou titanatos. Pelo processo indireto, o ferro gusa é rico em esteadita já que o fosforo está concentrado em grandes quantidades de forma eutética. (5)

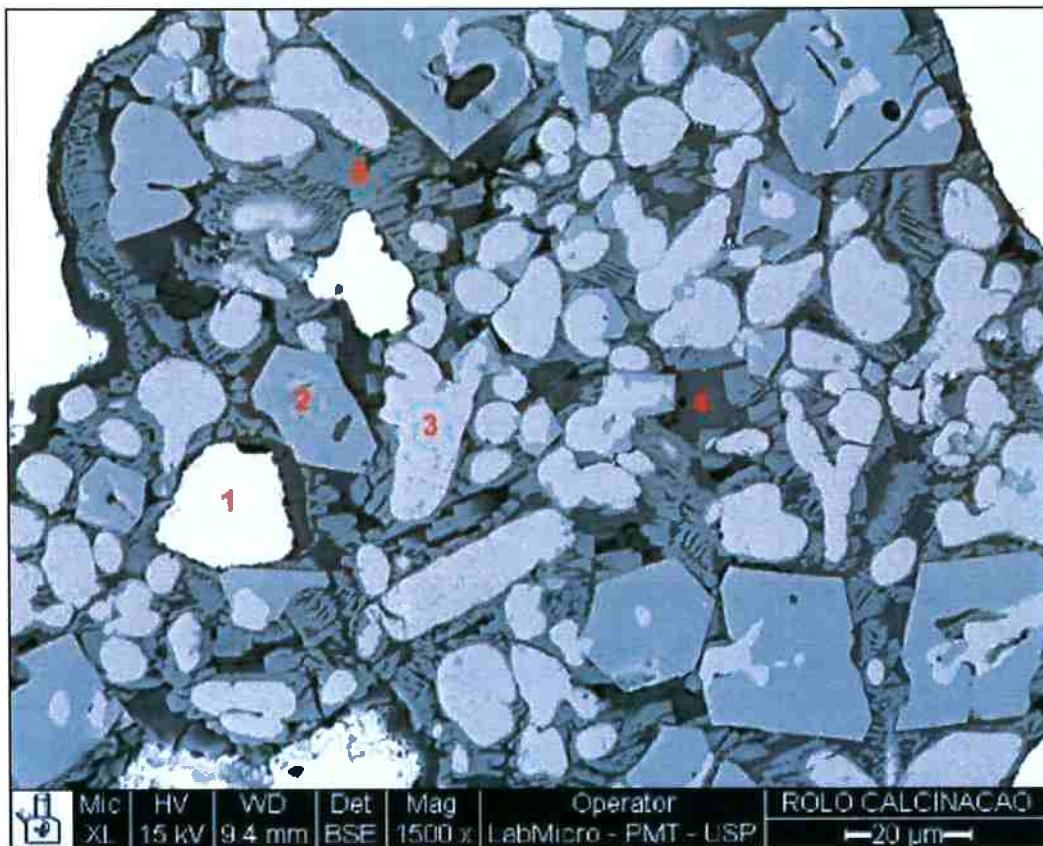


Figura 8. Inclusão multifásica. Ponto 1 é ferro metálico, ponto 2 ilmenita, ponto 3 wustita, ponto 4 matriz amorfa e ponto 5 composto por faialita. 1500X. Fotografia tomada por Rafael Rocha Maia 2014 (5).

Na figura 8 se mostram uma distribuição de fases numa inclusão de um ferro feito na fábrica de ferro de Ipanema, a microanálise foi feita por Rafael Rocha Maia em sua dissertação. No ponto 1 se pode observar ferro metálico, no ponto 2 uma fase geométrica é ilmenita, o ponto 3 uma dendrita de wustita, o ponto 4 uma matriz amorfa e o ponto 5 faialita.

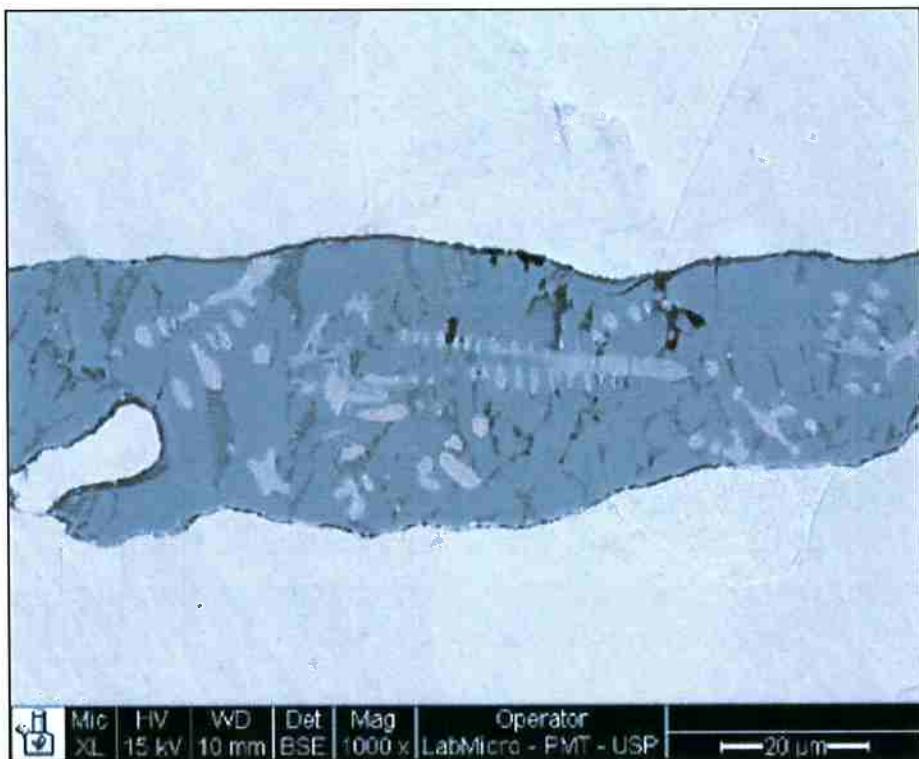


Figura 9. Inclusão não metálica com dendritas de wustita numa matriz provavelmente de faialita. Microscópio electrónico de varredura 800X. Fotografia tomada por Rafael Rocha Maia 2014 (5).

Na figura 9 se pode observar uma inclusão não metálica com matriz provavelmente de faialita, contendo dendritas de wustita. A microanálise foi feita por Rafael Rocha Maia e os resultados se encontram disponíveis em seu dissertação de mestrado. (5)

2.2. Processos de refino

Até hoje, na siderurgia, a operação de refino objetiva obter ferro na condição dúctil, com teor de carbono abaixo de 0,8%, mais comumente abaixo de 0,1% de carbono, por meio da refusão do ferro gusa seguido da oxidação do carbono, silício, fósforo e outros elementos. Essa oxidação era provocada pelo sopro de ar para dentro do forno de refino. Até meados do século XIX as tecnologias disponíveis limitavam a temperatura máxima desse processo a aproximadamente 1300°C. Nessa temperatura, a remoção do carbono provoca a solidificação do ferro inicialmente líquido, pois o ponto de fusão do ferro puro é de 1530°C. Um trabalhador usava uma vara metálica para remexer o material no interior com isso, ocorre um aprisionamento da escória no interior da massa de ferro sólido. A

remoção de pelo menos parte da escória ocorria ao comprimir o material por martelamento a quente.

Alguns aspectos do refino do ferro, como era entendido no século XIX, foram descritos no trabalho de formatura de Anna Stein, em 2013 (7).

Enquanto na Europa o uso de carvão mineral se disseminou, ao longo do século XIX, no Brasil e em alguns lugares de Europa com abundância de madeira ou falta de carvão mineral, o carvão vegetal continuou a ser usado (8). O processo de refino do gusa para obter ferro dúctil se diferenciou muito: a pudlagem se desenvolveu onde o uso de carvão mineral era disseminado, enquanto processos mais antigos e de menos produtividade sobreviveram com o uso de carvão vegetal

2.2.1. Pudlagem

A forma de produção de transformação de ferro gusa em dúctil, usando carvão mineral como combustível, conhecida como pudlagem, tornou-se dominante na Inglaterra na primeira metade do século XIX e sobreviveu em muitos locais até o final do século, ainda concorrendo com os novos processos Bessemer e Siemens-Martin que tinham produtividade muito maior.

Esse processo foi desenvolvido em 1784 pelo inglês Henry Cort (9), que desenvolveu um processo de descarbonatação do ferro sem contaminá-lo com enxofre presente no carvão mineral, usando um forno de revérbero. Este processo requeria de uma agitação constante.

Em 1815 a produção anual chegava às 140000 toneladas (10).

Joseph Hall fez a contribuição importante ao processo de pudlagem, ao trocar a parte inferior do forno, passando de sílica a óxido de ferro. Com isso, a oxidação do carbono deixou de ocorrer pela ação da atmosfera do forno, mas sim pelo oxigênio do óxido de ferro. Desde 1830 se usou comercialmente, até princípios do século XX. Neste processo de produz menos escória (11).

A agitação da carga fundida mudou muito através do tempo, existem fatores como diferenças do tamanho e componentes no revestimento do forno. O revestimento compreendia em maioria de Fe_3O_4 era sintetizado numa estrutura monolítica pela ajuda de adição de ferro ou escória. A função do óxido de ferro era selar todas as

entradas ao forno para evitar a entrada de oxigênio e conseguir o máximo calor e mínima oxidação. Para o ponto de ebulação, na escória era mais viscosa, começa a espumar e a crescer no forno, o qual flui livremente fora do forno.

Conforme ocorre o esgotamento do carbono, o ferro começa a solidificar, os gases se formam numas grandes bolhas e ardem numas pequenas chamas. Neste ponto se incrementa a agitação do banho enquanto o calor diminui (11).

Finalmente com a temperatura baixa da temperatura de fusão, o massa pastosa de ferro é transportada a um “espremedor” onde muita escória é removida. Despois de dar-lhe forma e passar o metal por uma série de roletes o forma final é uma barra.

Se conseguia refinar 150 kg de gusa em dois horas.

Na Europa e Estados Unidos já para 1860 se começou a usar o processo Bessemer.

2.2.2. Processos de refino a carvão vegetal.

Eram muitos os processos de refino usados nas siderúrgicas a carvão vegetal em todo o mundo. Os principais livros do século XIX fizeram breves descrições de cada um. Hassenfratz (1812), Karsten (1820) e Percy (1868) são os mais conhecidos.

2.2.2.1. Processo Estiriano (12)

No forno se forma uma cama pequena de carvão vegetal que pode ser residual das operações anteriores y que têm cinzas misturadas, esta é molhada e se coloca na cavidade. Como para o ferro já há sido tratado previamente se colocam peças de aproximadamente 2 polegadas de espessura com uma carga de 113,39 kg que se introduze no forno em duas porções: na primeira de 68,03 kg e a segunda de 45,36 kg.

Para a primeira porção, que é preaquecida, a fusão começa em uns 20 minutos. Para a segunda porção da carga também preaquecida previamente se funde lentamente por 10 minutos depois do começo da primeira fusão, mais o menos

9,07 kg da 18,14 kg de escória de martelo são aprisionadas diretamente sobre a superfície do metal fundido. O carbono consumido neste processo é de 30 a 40 pés cúbicos.

2.2.2.2. Processo Estiriano em uma só fusão (13).

Neste tipo de processo estiriano não se precisa de revolver e levantar a lupa no banho de escória. O refino do metal é realizado por meio da sorne e das battitures que se utilizam nos fornos de aquecimento das lupas no momento do estiramento dela em barra. Este método também se conhece como estiriano- valão pela utilização das lupas mas o tamanho é diferente. O forno é revestido internamente com pó de carvão de que as dimensões do cadinho se reduzem. A inclinação do algaraviz é de 25 a 30 graus. Durante a fusão do gusa, o ferro refinado é aquecido para ser forjado, este se faça em três operações, o primeiro kit estaciona em frente do algaraviz; o segundo ocupa o meio do cadinho e o terceiro fica junto ao contravento. Quando o primeiro kit está completamente fundido, é substituído pelo segundo e assim por diante. A lupa está pronta assim que a fusão é concluída: então ela retirada sem demora do cadinho e submetida à martelagem e cortada em pedferros, depois estes são reaquecidas para um refino mecânico. Se atira uma grande quantidade de carepa sobre as lopins quando elas estão sendo reaquecidas, isto com o fim de promover a descarbonização da massa fundida também, para promover o refino do metal em fusão lenta. O ferro gusa é colocado a uma altura acima do algaraviz. Quando um pedferro de ferro se separa do kit, o operário deve trazê-lo ao vento e colocá-lo em contato com a escória. Se após a liquefação de todo gusa parece muito mole, ela é regada com água e em seguida submetida ao martelo.

Este processo exige um gusa puro e muito fácil de lidar no refino, os trabalhadores devem empregar ferro gusa calcinado. O consumo de carvão é de 20 metros cúbicos por tonelada de ferro obtido.

2.2.2.3. Refino na Fábrica de ferro de Ipanema

O processo de refino em Ipanema era o estiriano, conforme afirma Leandro Dupré, quando Mursa foi à Europa a contratar empregados experientes, escolher um grande grupo oriundo da Estíria uma região no centro da Áustria.

Uma fotografia feita por Júlio W. Durski em 1884, mostra um panorama do complexo onde pode ser identificados o prédio do refino, a caldeira e a chaminé (Fig. 3).

O engenheiro Leandro Dupré, num artigo escrito em 1884 para a revista da Escola de Minas de Ouro Preto, descreveu com detalhe o processo de refino usado em Ipanema e apresentou uma planta do complexo, conforme mostra a figura 10.

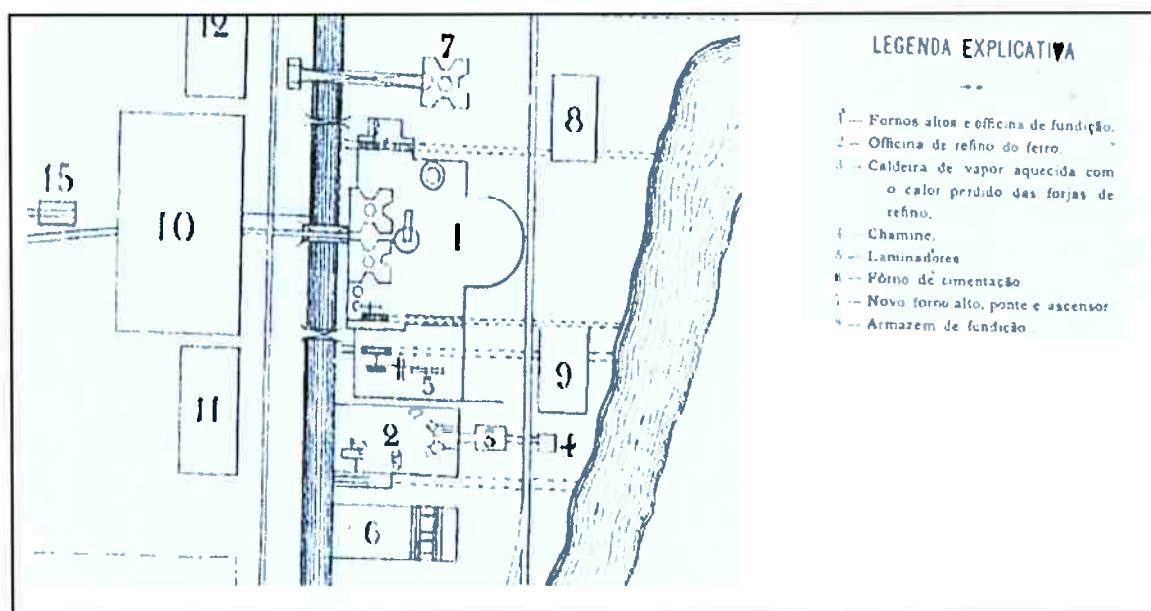


Figura 10. Detalhe da planta da fábrica de Ferro de Ipanema, mostrando localização da oficina de refino, caldeira e chaminé. Dupré 1885.

O texto de Leandro Dupré descreve o caminho do produtos da combustão, desde o forno até a chaminé, mencionando identificações da figura 11. A oficina tem dois fogos de refino: "As chamas, saindo dos fogos de refino sobem pelo lado da rustina, encontram em B os pedferros de guxa, que têm de ser refinados na operação seguinte, eleva-lhes a temperatura ao vermelho.

Seguindo, encontrando no solo do reverbero, as barras de ferro que devem passar nos laminadores, servindo o reverbero de forno de reaquecimento. Continuando

sua marcha, os gases quentes, vão a aquecer a caldeira vertical que fornece vapor aos martelos- piões, passando para a chaminé.

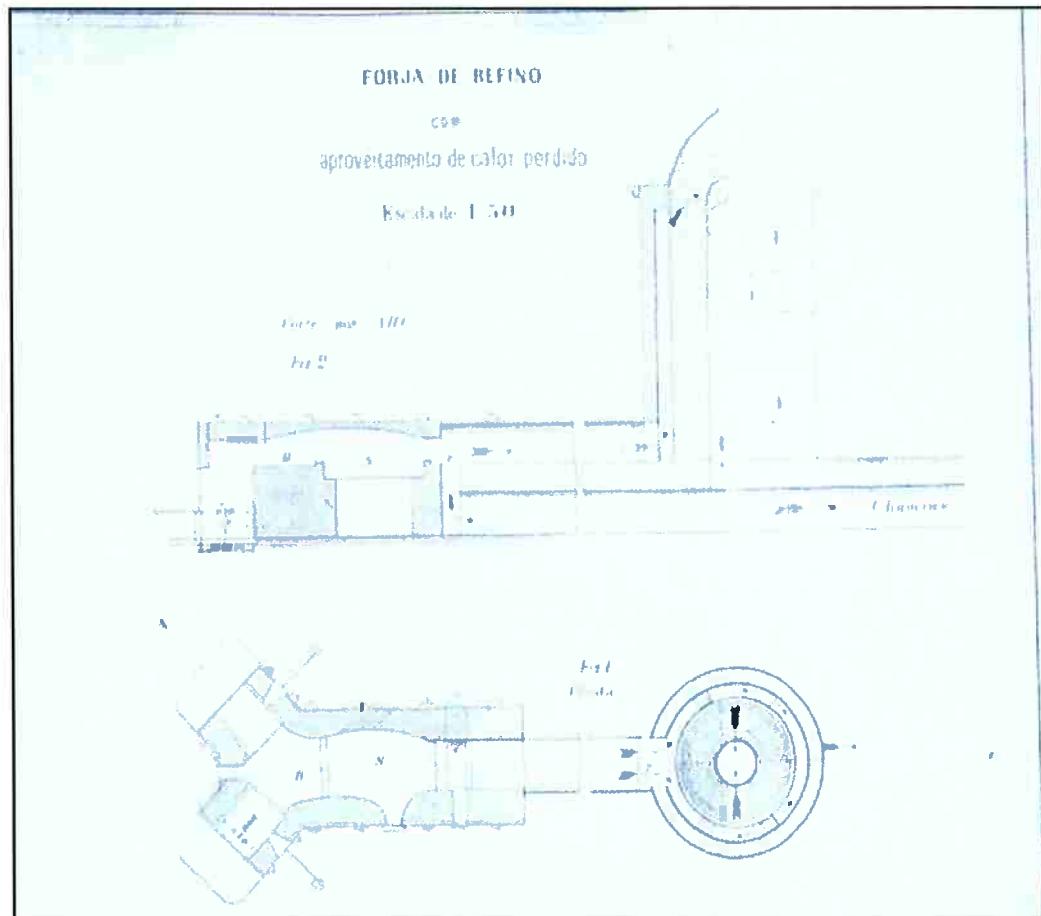


Figura 11. Planta e elevação do refino, excluindo a chaminé. Mostra a porta do forno em A, o patamar de pré-aquecimento do gusa em B e o solo do forno revérbero para aquecimento para laminação em "S".
Dupré 1885.

Quando há excesso de vapor na caldeira pôde-se interceptar a passagem das chamas, fechando o canal por meio de um registro, e abrindo o que estabelece comunicação direta com a chaminé.

Como se pode apreciar, o maneira de fazer o processo de refino por estiriano na fábrica de ferro de Ipanema era muito mais parecida más não exato ao processo descrito por Karsten (Estiriano em uma só fusão), pelo refino mecânico feito no metal depois do refino e as operações com o ferro gusa até a descarbonização, (1)

2.3. Processo de conformação do barras no século XIX.

2.3.1. Laminação

Depois do processo de pudlagem ou do refino estiriano, o ferro maleável, passava a uns trens de laminação, seu funcionamento era muito parecido com a laminação de agora. Se usavam uns rolos que produzem a deformação plástica por meio de esforços de compressão e de corte.

Estes esforços cisalhantes são produzidos pelo atrito entre o material e o rolo, este processo foi exitoso por que a espessura da peça resultante era muito uniforme. A laminação foi patenteada em 1787 por Henry Cort introduziu os rolos sulcados por primeira vez (10), o qual por seu desenho foi possível aumentar em 15 vezes a produção, isto foi um avanço através do tempo por que permitiu produzir em massa o ferro e disparar sua comercialização.

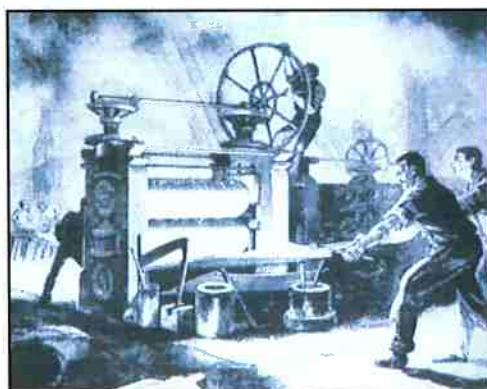


Figura 12. Laminador movido a vapor na segunda metade século XIX. (15)

O fim do processo de laminação era reduzir sua secção transversal e remover a escória que ainda se encontrava no interior e na superfície do ferro pudiado ou ferro feito através do processo estiriano. Na fábrica de Ferro de Ipanema, se tinha um pequeno trem de laminação, o qual depois de fazer o processo estiriano, era passado o ferro refinado. Além o laminador era movido por uma força motriz hidráulica que era o principal motor dos maquinismos da Fábrica.

Perto da fábrica se encontrava o Rio Ipanema, mas, para antes do 1882 a reserva de agua era muito pequena, uns meses do ano só se tinham 30 cavalos de força

o que correspondiam a 750 litros de água por dia e muitas vezes foi necessário interromper o trabalho pela falta deste recurso.

Devido a essa necessidade, se fizeram uns canais de derivação do rio Sorocaba que tinha meia légua mais ou menos de extensão, para alcançar os terrenos do valde do Ipanema, por onde se encaminharam naturalmente. (1) (14).

2.3.2. Forja

A Forja é o processo mais antigo de trabalhar os metais, primeiramente, os metais foram trabalhados por um ferreiro que fazia a deformação plástica do metal através de golpes contínuos, para a revolução industrial este sistema foi substituído pelas maquinas.

Por meio do processo se forja se obtem peças de seção transversal irregular ao comprimir o bloco metálico numa matriz através de golpes ou compressão, atualmente existem vários tipos de forja, como, por estampagem, matriz aberta ou fechada e por rodilhos.

O forno de reaquecimento da forja na fábrica compõe-se de cinco chapas fundidas de 5 centímetros de espessura. Quatro formam as paredes verticais e assentam sobre a chapa do fundo. O algaraviz se dividia em duas partes de catorze e quarenta centímetros de altura respetivamente, nesta é que se achava uma abertura aonde entra o algaraviz (1).

A chapa do fundo, tinha uma dupla inclinação para facilitar a corrida das escórias. A chapa lateral tinha furos em diferentes alturas, por onde se fazia correr as escórias durante a operação. O vento para o fornos de refino, era o mesmo que para os altos fornos, ao igual que para laminação, a força motriz para a operação de forja era hidráulica (15).

2.4. Macroestrutura de produtos de ferro século XIX

A macrografia é um exame da aspecto da superfície de uma peça neste caso metálica, através de uma preparação adequada da amostra. Este arreglo é visto através de um microscópio a dez aumentos.

- **FERRO PUDADLO**

O refino deste tipo de ferro se faz através do método de pudlagem, é obtido em estado pastoso e com alta quantidade de escória e porcentagem de carbono até 0.2, também é conhecido como ferro de lupa. Por sua forma de fabricação se elimina quase todo o carbono e várias impurezas a través da agitação em presença de óxidos adicionados e de uma chama oxidante. Pela consistência pastosa do ferro, impede que a escória volte à tona e por isso ficam retenidas na superfície do metal, está se vai aderindo até que forma uma “bola” que é retirada y fortemente martelada, porém, o escória não é completamente removida, permanecendo na superfície do metal em pequenas partículas que não são possível de olhar sem um microscópio. Este tipo de metal tem boas propriedades de forjabilidade e caldeabilidade. A presença dessas partículas de escoria fazem que se difference do ferro de baixo teor de carbono (16).

- **FERRO DE PACOTE**

O ferro de pacote é um produto de baixa qualidade, fabricado a partir de ferro pudlado de baixo conteúdo de carbono e obtido pela aglutinação em estado quase pastoso. Os fragmentos são reunidos em pacotes e aquecidos num forno a mais de 1300 °C. Nessa temperatura, os pacotes são retirados e colocados num laminador para que todos os pacotes retirados se aglutinem por caldeamento. Assim se obtem grossos tarugos, depois são reaquecidos e laminados até alcançar o perfil desejado.

Os fragmentos do ferro de pacote têm origem diverso, uma composição química diferente, por tanto as propriedades são diferentes, são forçosamente heterogêneas. A macrografia nos ferros pudlado e de pacote é importante para sua identificação e conhecer alguma informação acerca de sua forma de fabricação.

INTERPRETAÇÃO MACROGRAFICA (16)

Tabela 1. Interpretação metalográfica antes do ataque segundo o livro de Colpaert (17).

ASPECTO	SIGNIFICADO PROVAVÉL
Linhas com ramificações e pequenas áreas escuras próximas ao centro de peças laminadas vistas em seção transversal.	<p>a. No ferro pudiado, são escórias maiores.</p> <p>b. No ferro de pacote são defeitos de caldeamento ou partículas de escórias dos pedferros de ferro pudiado que contiver.</p>
Linhas escuras orientadas longitudinalmente.	<p>a. No ferro pudiado, escórias grandes.</p> <p>b. No ferro de pacote, defeitos de caldeamento.</p>

Tabela 2. Interpretação metalográfica após do ataque com reativo na seção transversal segundo o livro de Hubertus Colpaert (17)

ASPECTO	SIGNIFICADO PROVAVÉL
Aspecto marmóreo com veios e estrias relativamente largas	Ferro pudiado.
Aspecto conglomerado de áreas atacadas diferentemente.	Ferro de pacote.
Dendritas: brancas, pretas, retas, curvas, grandes, pequena	Material deformado (laminado ou forjado).
Áreas com aspecto de mosaicos muito pequenas, que desaparecem com leve polimento	Granulação grosseira
Fibras acompanhando trechos do contorno da peça.	Peça obtida por laminação, forjamento ou prensagem.

Nas tabelas 1 e 2 se podem olhar uns exemplos para facilitar a interpretação macrográfica (16) para peças feitas com ferro pudiado e ferro de pacote. Na tabela 1 estão as interpretações antes do ataque com o reativo químico e na tabela 2 ficam as interpretações após do ataque.

3. MATERIAIS E MÉTODOS.

As peças que foram trabalhadas neste relatório, são amostras tomadas de uma coleção de objetos pertencentes ao Museu Nacional, no Rio de Janeiro. Esses objetos deram entrada no livro tombo da Coleção Geológica do Museu no ano de 1886, e consta terem sido parte de uma coleção dada pelo diretor da Fábrica de Ferro de Ipanema ao Imperador Pedro II (Fig. 13). Os objetos são muito semelhantes, na forma, a outra coleção de objetos fabricados na mesma fábrica e datados de 1890, que são parte de coleção do Museu Republicano de Itu.

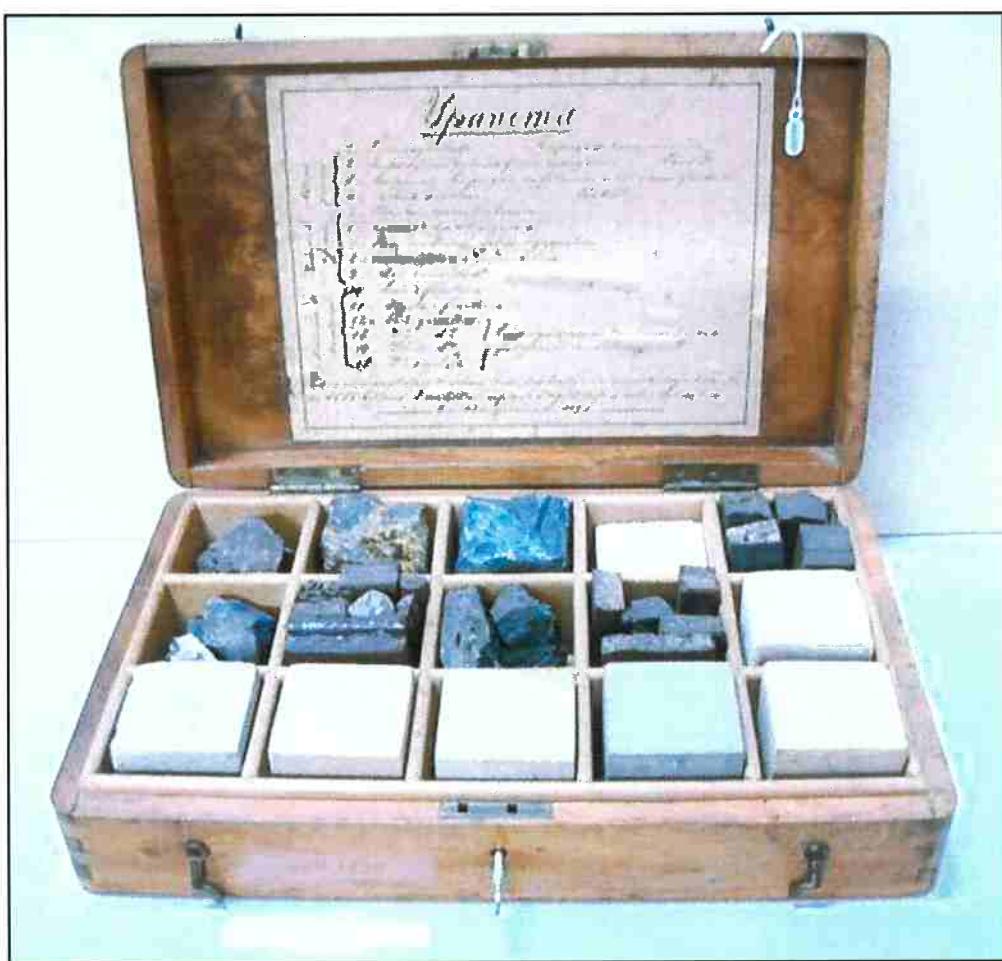


Figura 13. Conjunto de amostras da coleção do Museu da República, em Itu. Os objetos investigados no presente estudo são semelhantes a alguns dos ali exibidos.

As amostras receberam nova identificação ao darem entrada no Acervo do Laboratório Hubertus Colpaert do Departamento de Eng. Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da USP. As identificações são: 129, 130, 132, 133 e 135 (Amostras analisadas neste relatório)

CONJUNTO 129-135

O conjunto de amostras numeradas de 129 a 135 reúne sete segmentos (Fig. 14 e 15) cortados de barras de um conjunto de 12 barras, algumas em duplicata, que estão identificadas conjuntamente na coleção de Geologia Econômica do Museu Nacional sob o número 22-E, tendo como referência de descrição a frase: “ferro maleável caldeado, fibroso e granulado”.

O conjunto mostra barras cujas formas indicam que sofreram entalhe em “V” seguido de ensaio de dobramento de 180°, resultando em fratura parcial. Possivelmente a identificação “fibroso e granulado” refira-se ao aspecto da fratura. A identificação “maleável caldeado” deve referir-se ao processo de refino químico e mecânico a que o ferro de Ipanema era submetido.

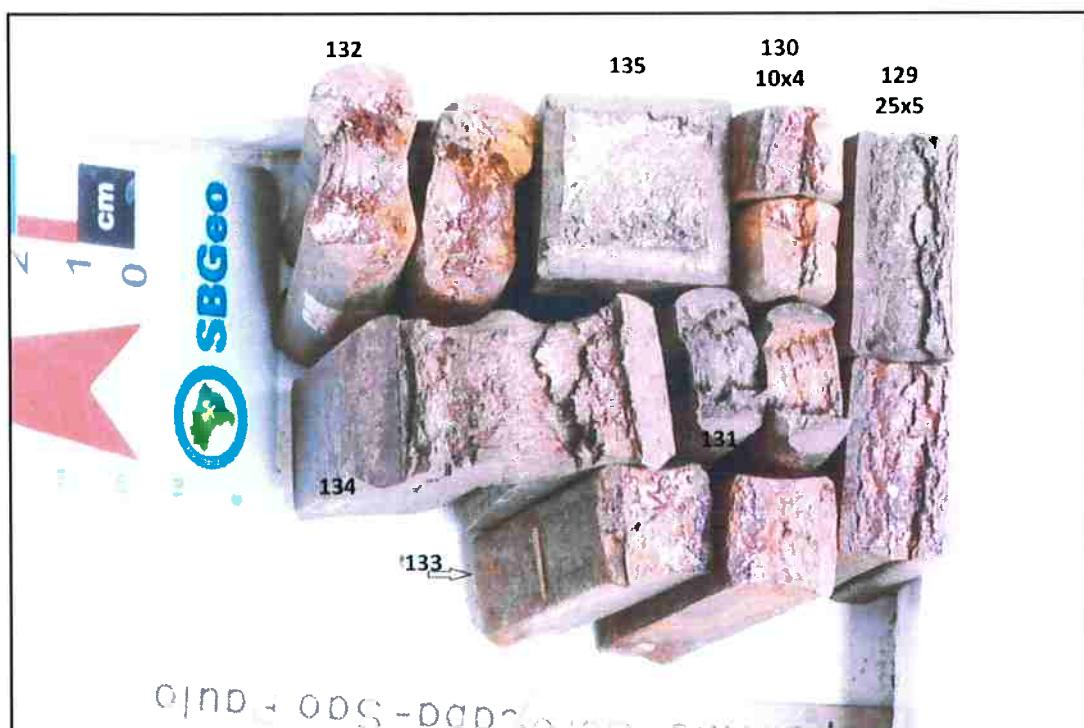


Figura 14. Figura Caixa da Coleção de Geologia do Museu Nacional contendo 12 objetos de ferro dos quais cinco em duplicata. À fotografia foram superpostas as identificações USP de sete amostras. Pode-se observar as superfícies de fratura de cada uma das amostras (fotografia feita por Augusto C. Neiva, 2014).

O Museu Nacional autorizou o corte de pequenas seções das amostras para exame metalográfico. As amostras foram retiradas por corte em serra no Museu Nacional. Os cortes, de aproximadamente 10mm de comprimento, foram feitos na seção transversal das sete barras de ferro. Os cortes foram feitos sempre na extremidade oposta a fratura.



Figura 15. Figura. Doze objetos de ferro, dos quais cinco em duplicata, retirados da caixa 22-E da Coleção de Geologia do Museu Nacional. A identificação datilografada que consta na caixa refere-se à Ipanema. Desses 12 objetos foram cortados segmentos de cada tipo. À fotografia foram superpostas as identificações dos sete objetos com a numeração USP, dos quais foram extraídas amostras. (Fotografia feita por Fernando J.G. Landgraf, 2014).

Na tabela 3 se encontra um resumo da descrição das amostras da coleção do Museu Nacional do Rio de Janeiro que sejam analisadas neste relatório.

Tabela 3. Resumo da coleção de objetos de fábrica de ferro de Ipanema analisados neste trabalho com sua descrição.

AMOSTRA	DESCRIÇÃO
129	Chapa retangular de seção transversal de 25X5 mm (Fig. 16)
130	Chapa retangular de seção transversal de 10X4 mm (Fig. 17)
132	Barra de seção transversal de diâmetro de 8 mm (Fig. 18)
133	Seção quadrada de 12X12 mm, sem montar em baquelita. (Fig. 19)
135	Chapa com seção quadrada de 25X25 mm sem montar em baquelita. (Fig. 20)

AMOSTRA 129



Figura 16. Amostra 129, chapa 25X5 mm. (Fotografia tomada por Cassio Junqueira 2015.)

AMOSTRA 130



Figura 17. Amostra 130, chapa retangular de seção de 10X4 mm. (Fotografia tomada por Cassio Junqueira 2015.)

AMOSTRA 132



Figura 18. Amostra 132, barra de diametro 8 mm.
(Fotografia tomada por Cassio Junqueira 2015.)

AMOSTRA 133



Figura 19. Amostra 133, Seção transversal quadrada de 12X12 mm.
(Fotografia tomada por Cassio Junqueira 2015.)

AMOSTRA 135



Figura 20. Amostra 133, seção transversal quadrada de 25X25 mm. (Fotografia tomada por Cassio Junqueira 2015.).

As todas as amostras se fizeram:

- Preparação metalográfica e ataque com nital ao 2% para revelar sua microestrutura e facilitar assim sua observação no microscópio ótico e posteriormente sua interpretação.
- Provas de Microdureza.
- Medição da fração volumétrica das inclusões.
- Um mosaico de toda sua microestrutura.
- Mapeamento das inclusões não metálicas.

1. PREPARAÇÃO METALÓGRAFICA E ATAQUE (17).

Para as 5 amostras foi feita uma preparação metalográfica seguindo a norma ASTM E3-11: Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens. (17)

1.1. Montagem:

Para poder fazer o montagem de cada amostra numa proveta, se deveu cortar cada uma a um grosso aproximado a 0,5 milímetros. Isto com o fim de no futuro fazer outras provas ás mesmas peças.

As cinco amostras cortadas foram montadas em baquelita, devido a seu tamanho, para facilitar sua manipulação durante o lixado e o polimento. Se usou uma máquina para montagem em baquelita.

1.2. Lixado:

Para o lixado se usaram lixas de água abrasivas de 80, 120, 240, 320, 400, 600, 1000 e 1200, para começar a limpar a superfície da amostra, se utilizaram nesse ordem, da granulometria mais grossa até mais fina. As lixas foram colocadas numa polidora metalográfica. Este processo se fiz também, para cada uma das cinco amostras.

1.3. Polimento:

O polimento se fiz numa polidora metalográfica, se usaram pastas de 1,3 e 6 μm com o fim de deixar a superfície da amostra como um espelho e poder fazer seu análises no microscópio ótico.

2. MEDAÇÃO DE FRAÇÃO VOLUMETRICA DAS INCLUSÕES

Para a medição de fração volumétrica das inclusões se tiraram 20 fotos de cada amostra num aumento de 100X em diferentes regiões. Depois a cada foto se calculou o volume de cada inclusão presente na foto.

O software utilizado foi ImageJ.

3. MICRODUREZA VICKERS.

A todas as amostras se fizeram medidas de microdureza através de um durometrô Vickers com uma carga de 300g acorde a norma ASTM E384 (18).

4. MOSAICOS.

Se fiz um mosaico da microestrutura de cada uma das amostras a 50X. Isto com o fim de observar melhor a distribuição das inclusões. Os programas utilizados foram Photoshop CS5, CorelDraw X7 e Paint.

5. MAPEAMENTO DAS INCLUSÕES

Se tiraram fotos em aumentos de 500X, 1000X e em alguns casos de 200X das inclusões que aparecem mais repetidamente e formam um padrão.

4. RESULTADOS

4.1. MACROGRAFIAS

A continuação se mostraram as macrografias das amostras analisadas neste trabalho, estas amostras foram atacadas com nital ao 2%.

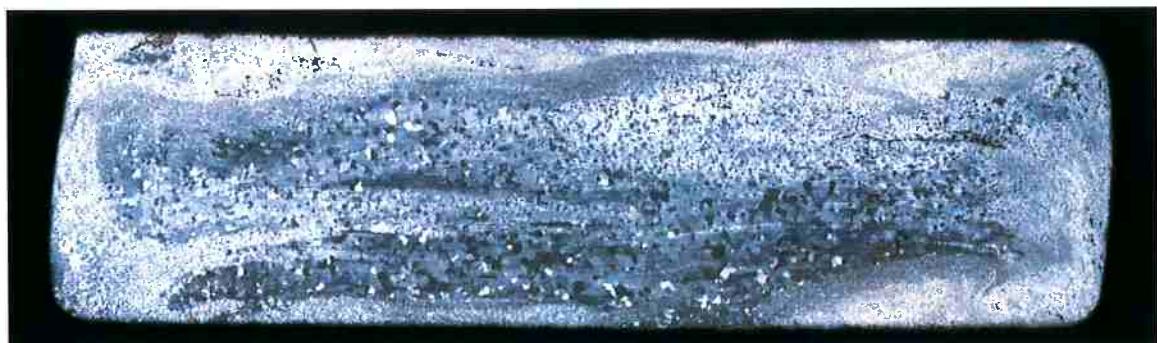


Figura 21. Macrografia Amostra 129. Se observam zonas atacadas diferentemente.

Na figura 21 se pode ver a macrografia da amostra 129 um aspecto de conglomerado de zonas atacadas diferentemente, como se pode olhar na figura, há umas zonas brancas, cinzas e pretas. Também nesta figura se podem olhar um aspecto marmóreo com estrias largas. Como se pode ver, esta amostra tem características de fabricação em estado pastoso.



Figura 22. Macrografia Amostra 130, contem regiões atacadas diferentemente, zonas cinzas, brancas e pretas.

Na figura 22 se pode ver também áreas atacadas diferentemente, umas zonas más claras e outras mais escuras. Também podem ser descarbonatação superficial nas

zonas brancas a dureza é maior. Presenta características de fabricação em estado pastoso.



Figura 23. Macrografia amostra 132, com zonas atacadas diferentemente.

Na figura 23 se pode observar a seção transversal do barra zonas de aspecto conglomerado de áreas que hão sido atacadas diferentemente, esta é uma característica dos ferros com fabricação em estado pastoso.



Figura 24. Macrografia amostra 133, com regiões cinzas, pretas e brancas.

Como na figura anterior, nas figura 24 e 25 se podem observar o mesmo padrão de áreas atacadas diferentemente com aspecto conglomerado. Estes ferros têm características muito parecidas aos ferros de pacote, com alguns aspectos parecidos aos ferros fabricados em estado pastoso pela condição de que o primeiro é fabricado a partir do segundo. Se pode observar a heterogeneidade das amostras, o que indica que as propriedades mecânicas variam de um ponto a outro.



Figura 25. Macrografia Amostra 135.

4.2. MICRODUREZA

Para medir as micro durezas, se dividiu cada amostra em várias regiões, com o fim de determinar melhor a heterogeneidade das amostras.

Para fazer as provas se usou uma carga de 300 gramas para todas as medidas de dureza.

O procedimento se mediu as diagonais e dividiu entre 6 seguindo a norma da Micro dureza Vickers, segundo a norma ASTM E384 (18).

$$d = \frac{D1 + D2}{6}^1$$

Após disso, o valor resultante se procurou na tabla de microdureza Vickers² com uma carga de 300 gramas (18) (19).

AMOSTRA 129

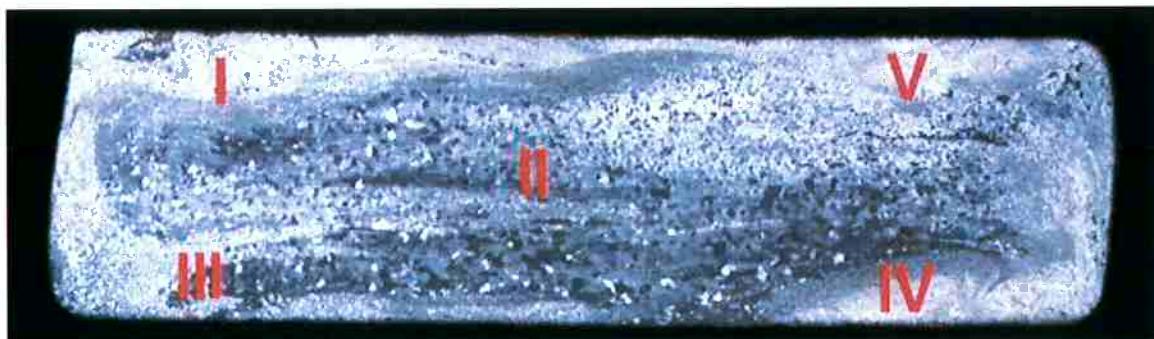


Figura 26. Mosaico Macro amostra 129 divisão em regiões para toma das medidas de dureza.

A macrografia da amostra 129 se dividiu em 5 regiões para a toma da microdureza vickers, a divisão se pode observar na figura 26. Acontinuação se mostrara a tabela 4 com as durezas, com a medição das diagonais, o resultado e finalmente a média da medição da micro dureza de cada região.

¹ A divisão se fiz entre 6 pelo fator de correção do durómetro.

² Anexo II. Tabelas 17 e 18.

Tabela 4. Micro dureza Vickers amostra 129.

Regiões	D1	D2	(D1+D2)/6	HV	MEDIA
Região I	191	189	63,	139	
	200	206	67,7	121	
	198	200	66,3	127	
	189	187	62,7	142	
	166	186	58,7	162	
	178	176	59	160	141 HV
Região II	212	213	70,8	111	
	212	202	69	117	
	227	232	76,5	95,1	
	220	211	71,8	108	
	229	230	76,5	95,1	
	251	246	82,8	82,3	101 HV
Região III	210	211	70,2	113	
	210	200	68,3	119	
	199	209	68	120	
	183	188	61,8	146	124 HV
Região IV	184	189	62,2	144	
	215	204	69,8	114	
	178	187	60,8	151	
	189	183	62	145	143 HV
	171	180	58,5	163	
Região V	223	224	74,5	100	
	200	295	82,5	122	
	187	185	62	145	122 HV

AMOSTRA 130

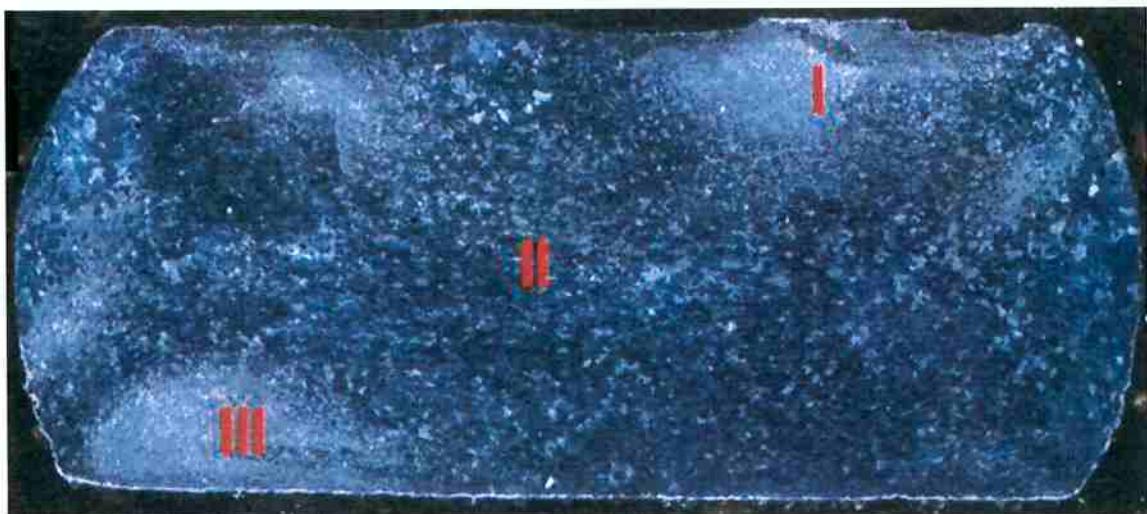


Figura 27. Macrografia amostra 130 divisão das medidas de micro dureza Vickers.

A amostra 130 se dividiu em três regiões para tomar as medidas de dureza (Fig. 27).

Tabela 5. Medidas de dureza divisão pelas regiões amostra 130.

Regiões	D1	D2	$(D1+D2) / 6$	HV	MEDIA
Região I	163	161	54	191	
	181	180	60,2	154	
	175	180	59,2	159	
	160	160	53,3	196	
	150	165	52,5	202	180 HV
Região II	200	195	65,8	129	
	198	200	66,3	127	
	202	211	68,8	118	
	192	205	66,2	127	
	180	183	60,5	152	130 HV
Região III	176	175	58,5	162	
	175	176	58,5	162	
	166	162	54,7	185	
	160	159	53,2	197	
	158	154	52	206	182 HV

Como se pode ver na tabela 5, as regiões I e III apresentam uma maior microdureza, 180.4 e 182.4 HV, respectivamente.

AMOSTRA 132

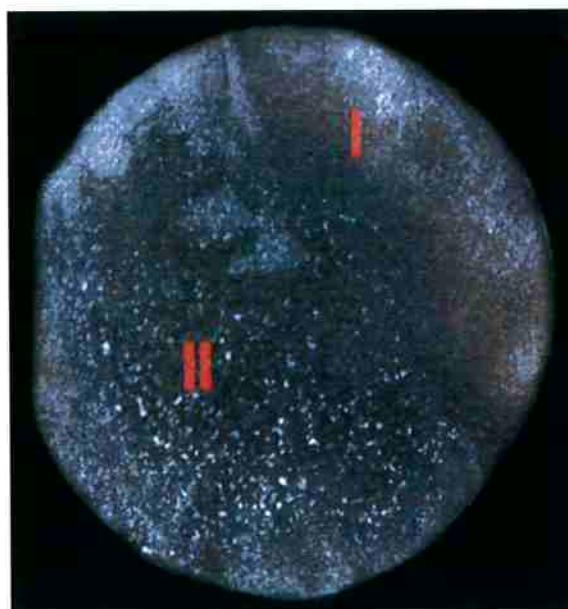


Figura 28. Mosaico amostra 132 divisão das medidas de micro dureza Vickers.

A amostra 132 se dividiu em duas regiões como se pode olhar na figura 28, as resultados das medições se podem olhar na tabela 6.

Tabela 6. Resultados medidas de dureza pela divisão em regiões amostra 132

Regiões	D1	D2	(D1+D2)/6	HV	MEDIA
Região I	165	167	55,3	183	
	161	167	54,7	187	
	172	180	58,7	162	
	172	180	58,7	162	
	200	202	67	124	
	192	187	63,2	140	
	181	176	59,5	157	
	161	163	54	191	
	173	164	56,2	177	
	165	164	54,8	185	166 HV
Região II	197	196	65,5	129	
	199	186	64,2	135	
	197	197	65,7	129	
	199	209	68	120	
	187	186	62,2	144	
	193	209	67	124	
	200	194	65,7	129	
	207	206	68,8	118	
	191	192	63,8	119	
	182	190	62	145	129 HV

Na tabela 6 se mostram os resultados das medições de microdureza, para esta amostra se fiz uma divisão de dois regiões, as maior microdureza está na região I com 129.2 HV.

AMOSTRA 133

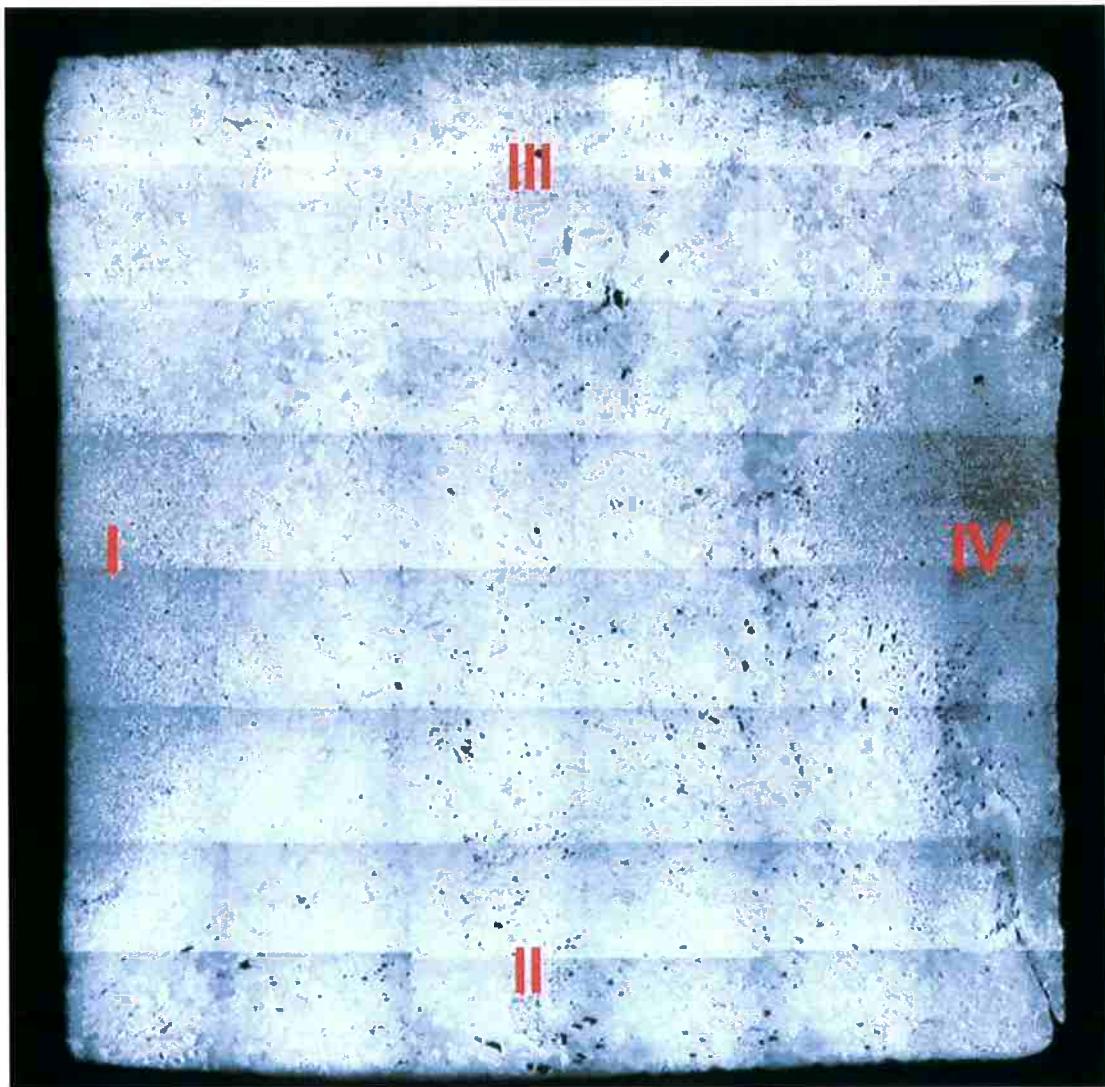


Figura 29. Mosaico amostra 133 divisão de regiões para medida de micro dureza Vickers.

Para tomar as medidas de micro dureza Vickers, se dividiu a amostra 133 (Figura. 29) em quatro regiões

Como se pode olhar na tabela 7, as durezas maiores se apresentaram nas regiões I e IV que foram 157,7 HV E 158,8 HV respectivamente.

Tabela 7. Micro dureza Vickers Amostra 133.

Regiões	D1	D2	(D1+D2)/6	HV	MEDIA
Região I	171	164	55,8	179	
	187	187	62,3	144	
	179	175	59	160	
	177	173	58,3	164	
	182	179	60,2	154	
	185	190	62,5	144	
	180	175	59,2	159	157 HV
Região II	200	201	66,8	125	
	222	216	73	104	
	185	181	61	150	
	199	195	65,7	130	
	193	196	64,8	133	
	203	200	67,2	124	
	193	198	65,2	131	128 HV
Região III	200	197	66,2	127	
	207	200	67,8	120	
	200	204	67,3	123	
	197	206	67,2	124	
	188	181	61,5	148	
	200	198	66,3	127	
	172	184	59,3	159	132 HV
Região IV	164	169	55,5	181	
	179	178	59,5	157	
	182	188	61,7	146	
	191	185	62,7	142	
	179	184	60,5	152	
	172	168	56,7	173	158 HV

AMOSTRA 135

A amostra 135 se dividiu em cinco regiões para tomar as medidas de microdureza. Na figura 30 se pode observar a distribuição das regiões na superfície da amostra.



Figura 30. Mosaico amostra 135 divisão para as medidas de micro dureza Vickers

Na tabela 8 se podem observar os resultados da toma de microdureza Vickers, como se pode ver, as regiões com maior microdureza são: Região I, III e IV.

Tabela 8. Tabela microdureza por regiões amostra 135.

Regiões	D1	D2	(D1+D2)/6	HV	MEDIA HV
Região I	185	179	60,7	151	
	186	168	59	160	
	171	166	56,2	176	
	198	193	65,2	131	
	184	179	60,5	152	
	184	183	61,2	149	
	193	190	63,8	137	
	170	172	57	171	
	179	170	58,2	164	173 HV
Região II	184	185	61,5	147	
	193	181	62,3	143	
	193	194	64,5	134	
	194	189	63,8	137	
	223	211	72,3	106	
	197	200	66,2	127	
	200	199	66,5	126	131 HV
Região III	179	181	60	155	
	182	183	60,8	151	
	181	180	60,2	154	
	204	200	67,3	123	
	177	189	61	150	
	168	176	57,3	169	
	171	173	57,3	169	153 HV
Região IV	164	165	54,8	185	
	180	175	59,2	159	
	200	187	64,5	134	
	200	196	66	128	
	200	209	68,2	120	
	189	192	63,5	138	
	193	194	64,5	134	142 HV
Região V	220	219	73,2	104	
	232	231	77,2	93,3	
	205	200	67,5	122	
	181	184	60,8	151	
	181	177	59,7	157	
	190	198	64,7	133	
	198	194	65,3	131	
	227	228	75,8	96,8	123 HV

4.3. FRAÇÃO VOLUMÉTRICA DAS INCLUSÕES

A fração volumétrica das inclusões se fez através do programa ImageJ, se tiraram 20 fotos em 100X de cada uma das amostras e se media através do software a área de cada uma das inclusões presentes. A continuação se mostraram em tabelas os resultados de cada uma destas medições.

AMOSTRA 129

Tabela 9. Medida da fração volumétrica das inclusões amostra 129.

	%Fração Volumétrica.
1	10,6
2	4,9
3	3,6
4	6,7
5	8,7
6	5,6
7	2,7
8	2,6
9	5,5
10	3,7
11	3,1
12	2,2
13	3,9
14	2,5
15	11,9
16	3,1
17	2,1
18	2,8
19	5,3
20	0,8
Meia	4,6

AMOSTRA 130

Tabela 10. Medida da fração volumétrica das inclusões amostra 130.

	%Fração Volumétrica.
1	1,1
2	2,3
3	4,3
4	2,9
5	2,8
6	3,1
7	3,8
8	3,9
9	2,9
10	2,8
11	2,9
12	2,8
13	1,5
14	2,5
15	0,6
16	1,7
17	2,2
18	3,5
19	1,9
20	1,1
Meia	2,5

AMOSTRA 132

Tabela 11. Medida da fração volumétrica das inclusões amostra 132.

	%Fração Volumétrica.
1	3,1
2	1,6
3	1,9
4	1,8
5	2,9
6	1,2
7	0,4
8	0,5
9	0,6
10	1,1
11	0,7
12	0,8
13	0,7
14	0,8
15	0,7
16	0,3
17	4,2
18	4,3
19	1,9
20	2,8
Meia	1,6

AMOSTRA 133

Tabela 12. *Medições de Fração volumétrica das inclusões amostra 133.*

	%Fração Volumétrica.
1	2,4
2	1,4
3	1,1
4	1,2
5	2,2
6	1,9
7	1,6
8	3,1
9	3,3
10	0,4
11	0,9
12	1,6
13	1,1
14	0,4
15	0,6
16	0,7
17	1,4
18	0,4
19	0,7
20	0,9
Meia	1,37

AMOSTRA 135

Tabela 13. Medições da Fração volumétrica das inclusões amostra 135.

	%Fração Volumétrica.
1	4,7
2	3,2
3	0,2
4	0,2
5	1,5
6	7,3
7	3,9
8	0,4
9	1,4
10	0,1
11	4,8
12	0,3
13	1,4
14	0,4
15	0,5
16	2,8
17	2,7
18	1,3
19	1,9
20	1,1
Meia	2,01

4.4. MAPEAMENTO DAS INCLUSÕES

Para fazer o mapeamento das inclusões, se fizeram três passos:

1. A preparação metalográfica e se atacou com nital ao 2% (21) para revelar sua microestrutura, para cada uma das amostras se fiz um mosaico onde se pode observar todas as variações na superfície e pode-lhe dar uma classificação às inclusões presentes.
2. Após se voltou a passar as amostras pelos panos de polimento com pasta de 6, 3 e 1 μm para limpar a superfície atacada.
3. Se observam e analisam as inclusões nos aumentos de 500X, 1000X e para as inclusões muito grandes em 200X.

AMOSTRA 129

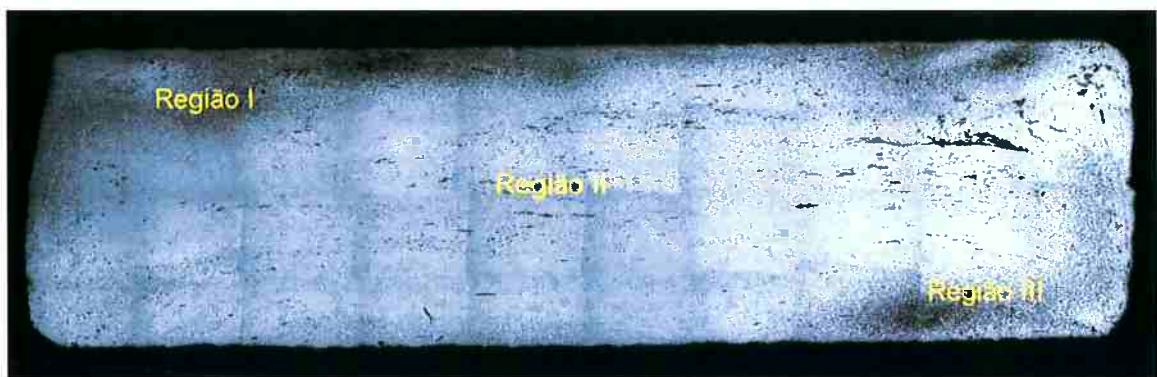


Figura 31. Mosaico Amostra 129.

A amostra 129 se dividiu na amostra em 3 regiões:

- Região I: Região com alto porcentagem de perlita e os grãos pequenos.
- Região II: Região onde se observam grãos grandes e só está presente ferrita.
- Região III: Ao igual que a Região I, tem presença de perlita y grãos pequenos.

Na figura 31 pode-se observar a divisão das regiões do mapeamento de Inclusões.

Na figura 32 se pode ver uma micrografia da região I³, se pode ver que o ataque com

³ Todas as regiões com alto porcentagem de perlita vão a ter esta mesma configuração.

nital ao 2% (20) revelou uma grande quantidade de perlita nessa área, o tamanho de grão nesta área é aproximadamente de $40,54\mu\text{m}$ ⁴

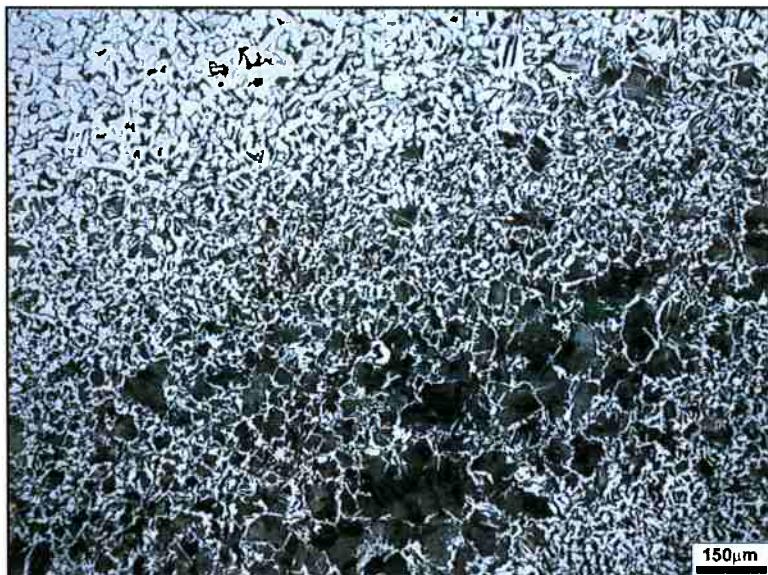


Figura 32. Micrografia em 100X da região I na divisão da amostra 129 para o mapeamento das inclusões.

Na micrografia da figura 33, se pode ver que nessa área⁵ só se encontra presente ferrita, o tamanho de grão, também, é maior. Além disso, também se podem observar grãos que têm uma certa angularidade, também se podem olhar uma conglomeração de inclusões. Tamanho de grão aproximado de $136,84\mu\text{m}$.

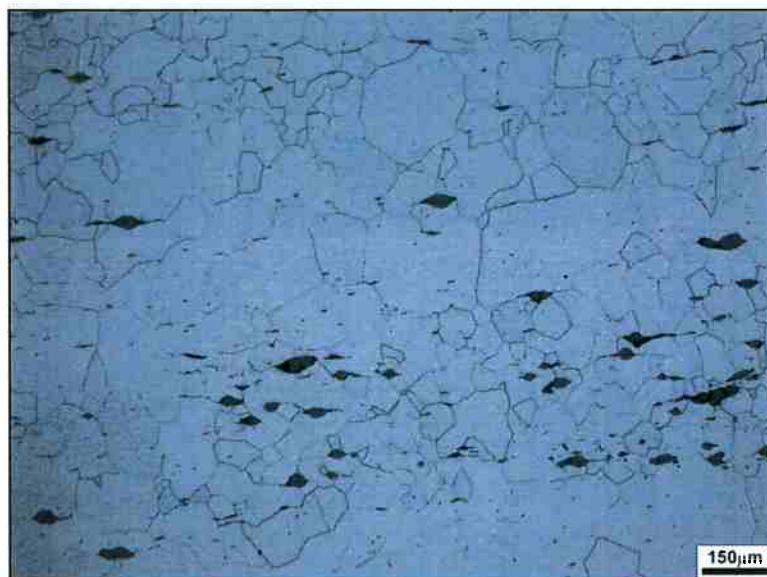


Figura 33. Micrografia da região II em 100X mostrando grãos equiaxiais de ferrita (fase clara) e um conglomerado de inclusões.

⁴ Estas medidas são aproximadas devido a variação nos tamanhos de grãos, todas as medidas se fizeram com o programa Imagem-Pro.

⁵ Todas as regiões com regiões de ferrita vão a ter esta mesma configuração.

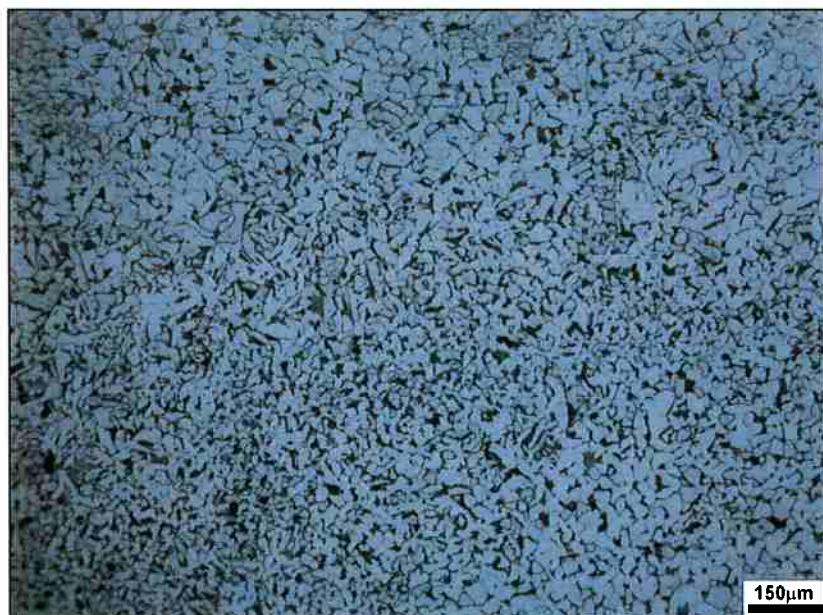


Figura 34. Micrografia da região III na divisão no mapeamento das inclusões, há presente alta quantidade de perlita.

Na região III (Fig. 34) se pode observar a presença de alta quantidade de perlita revelada com o ataque químico com nital ao 2%. O tamanho de grão aproximado é de $60,1\mu\text{m}$. Os grãos das regiões com perlita sejam considerados “pequenos” e os grãos de ferrita, tamanho de “grão grande”.

MICROGRAFIAS REGIÃO I

Na região I como se pode ver no mosaico (Fig. 31) há presença de muita perlita e o tamanho de grão é menor.

- Na figura 35 se observar numa matriz ferrítico-pelítica num aumento de 1000X, uma inclusão de composição provável⁶ uma fase cinza clara geométrica (ponto 1) que corresponde a uma fase rica em titânio (Ilmenita) e no ponto 2 uma fase vítreia de SiO_2 .

⁶ Para todos os análises das micrografias, as composições são “prováveis” já que não se fiz o microanálise, mas, se tomou como referência as investigações feitas na dissertação de Mestrado de Rafael Rocha Maia (5), quem trabalhou em seu relatório com amostras feitas na mesma época na Fábrica de Ferro de Ipanema.



Figura 35. Inclusões Amostra 129 1000X, se observam duas fases: vitrea e ilmenita.

- Na Figura 36 se pode observar com um aumento de 1000X numa matriz ferritica-perlitica, uma inclusão de composição provável, no ponto 1 de ilmenita, no ponto 2 uma fase amorfa, no ponto 3 faialita e no ponto 4 wustita.

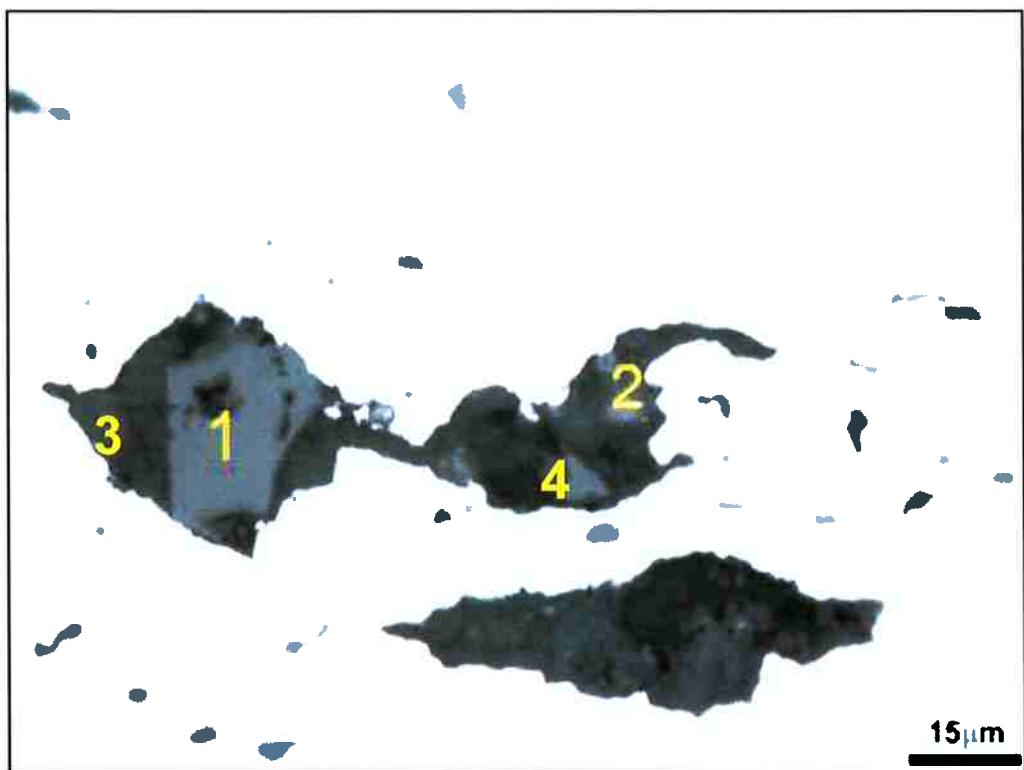


Figura 36. Inclusão Amostra 129 1000X, com presença de wustita, faialita e uma fase vítreia.

MICROGRAFIAS REGIÃO II

Na região II, como se pode observar no mosaico (Fig. 31), tem ferrita e seu tamanho de grão é maior.

- Na Figura 37 se pode observar uma inclusão bifásica a 500 aumentos com uma fase cinza clara de wustita arredondada como se observa no ponto 1, para o ponto 3 observa-se uma fase vítreia escura com conteúdo de SiO_2 .

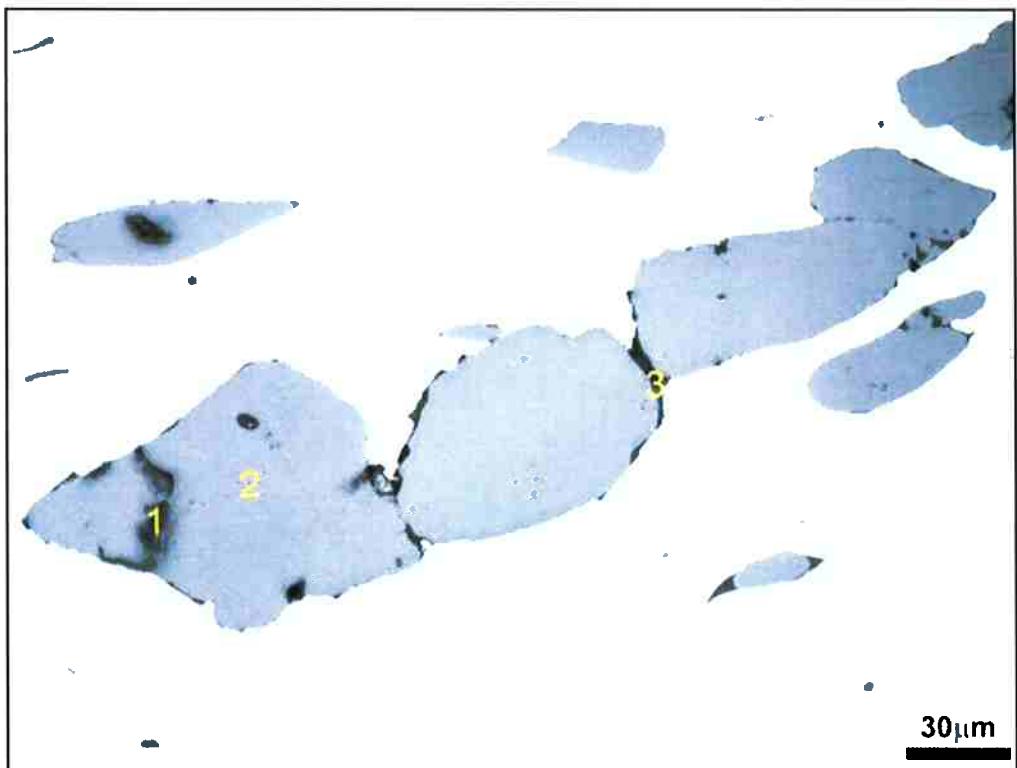


Figura 37. Amostra 129 Região II 500x, se observam dois fases: wustita e fase vítreia.

- Na figura 38 se pode observar uma inclusão provavelmente com duas fases, a primeira uma fase cinza clara de wustita numa matriz vítreia. Nesta região a matriz é ferrítica.

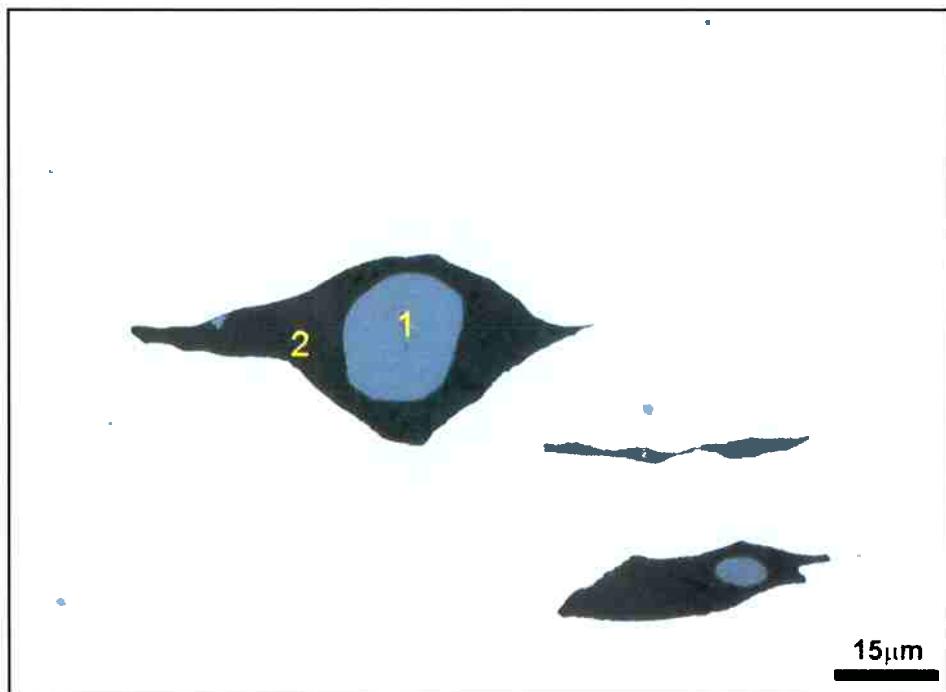


Figura 38. Amostra 129 Região II 1000x.

MICROGRAFÍAS REGIÃO III

Na região III, como pode-se ver no mosaico muito parecida na região I com alto conteúdo de perlita e tamanho de grão fino.

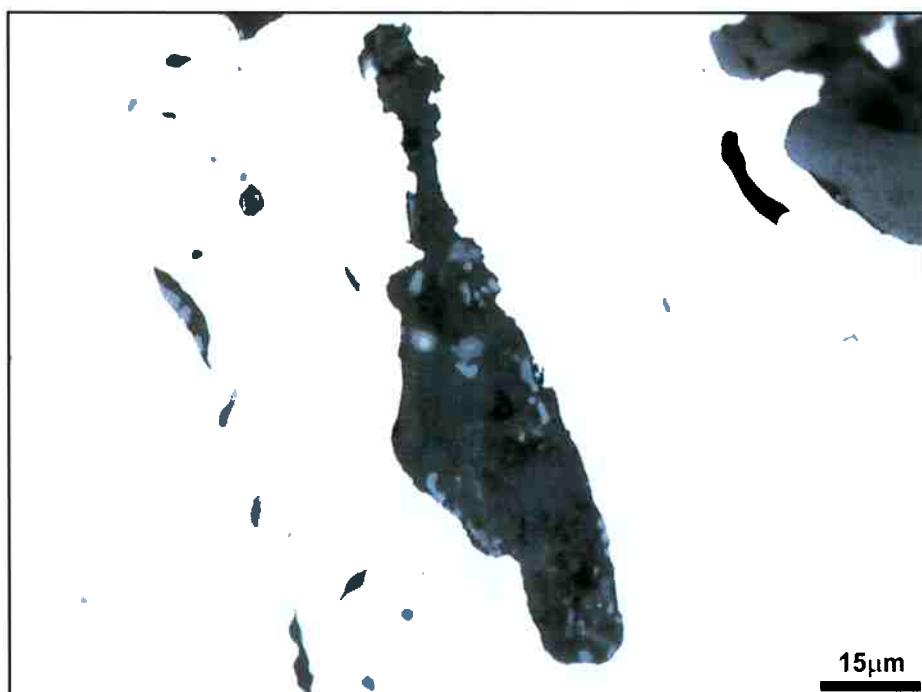


Figura 39. Inclusão amostra 129 Região III 1000X.

- Na figura 39, se observa uma micrografia com uma matriz provavelmente vítrea (cinza escura), fase de dendritas de wustita (cinza clara), as fases angulares de ilmenita e a fase cinza de faialita.
- Na figura 40, se observa uma inclusão, (com composição provável) com uma matriz de vítrea que contem SiO_2 , com uma fase de faialita (cinza escura), a fase angular de ilmenita e as dendritas de wustita.

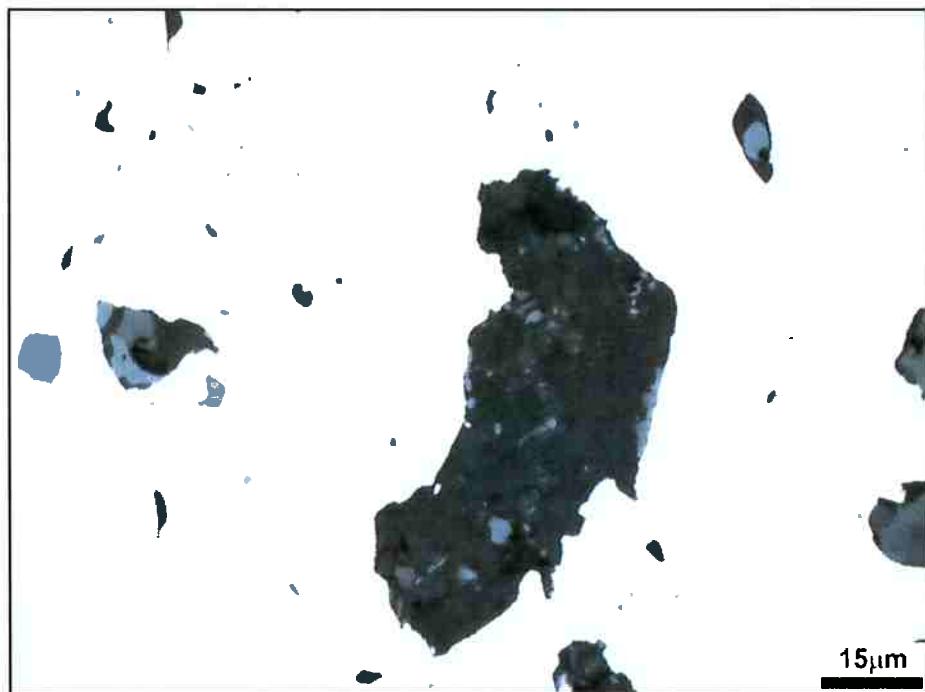


Figura 40. Inclusão amostra 129 Região III 1000X.

AMOSTRA 130

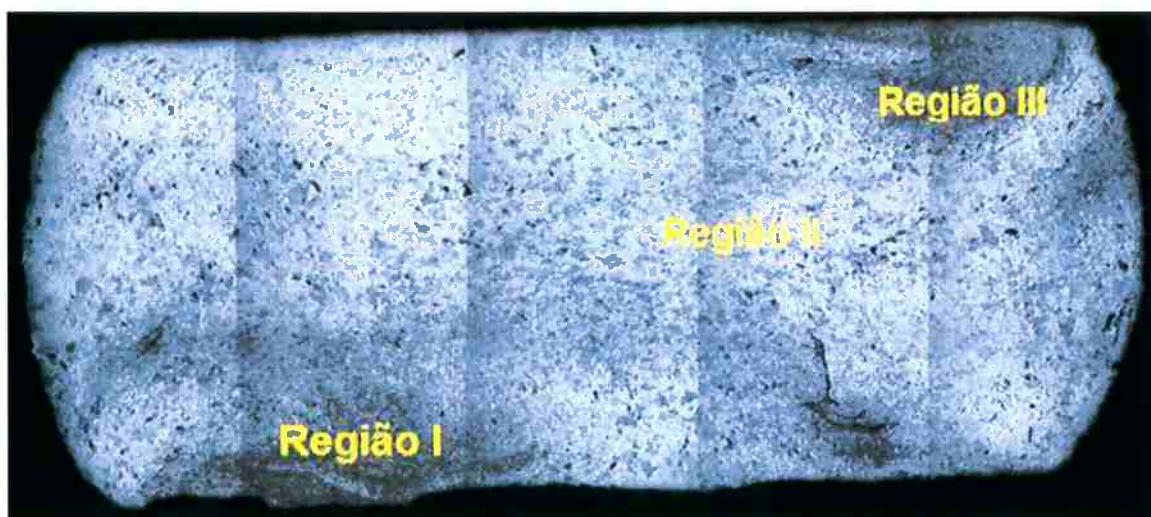


Figura 41. Mosaico Amostra 130.

A

amostra 130 se dividiu em três regiões, como se pode observar na figura 41:

- Região I: presença de alto porcentagem de perlita e tamanho de grão fino
- Região II: Tamanho de grão grande e ferrita.
- Região III: Tamanho de grão pequeno y alto porcentagem de perlita.

MICROGRAFÍAS REGIÃO I

Nesta região há alto conteúdo de carbono e o tamanho de grão é menor

- Nesta micrografia (Fig. 42) se pode observar uma inclusão alargada em duas fases, uma fase vítreia preta de SiO_2 (2) e uma fase de faialita cinza clara(1)

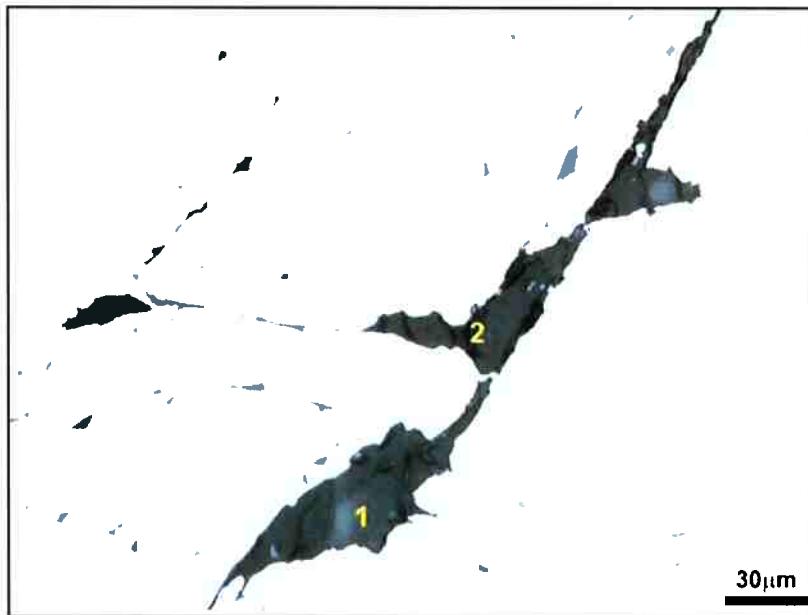


Figura 42. Inclusão amostra 130 região I 500X, com duas fases presentes faialita e vítreia.

- A inclusão na figura 43 num aumento de 500X, se observam 3 fases. No ponto 1(cinza), no ponto 2 é wustita numa matriz vítreia com conteúdo de SiO_2 .

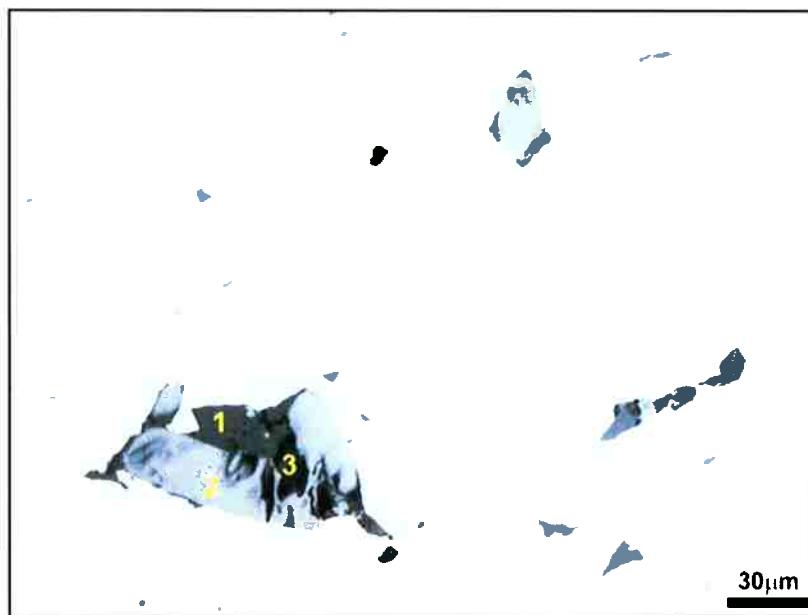


Figura 43. Inclusão amostra 130 região I 500X. Com três fases presentes wustita, faialita e vítreia.

MICROGRAFIAS REGIÃO II

- A inclusão na figura 44, bifásica, no ponto 1 wustita e no ponto 2 uma fase vítreia de SiO_2 .

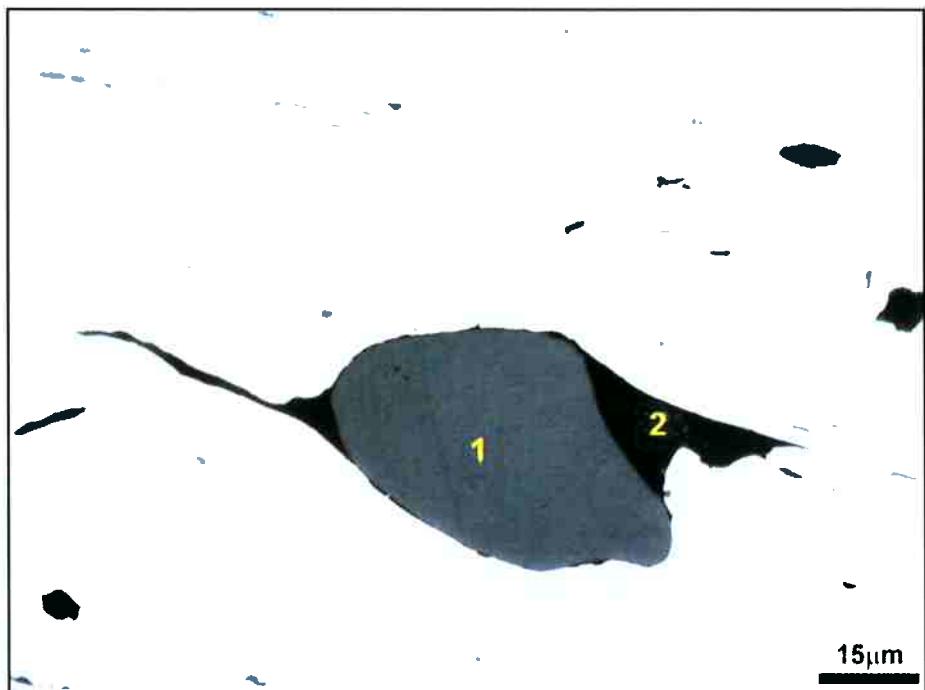


Figura 44. Inclusão amostra 130 região II 1000X com presença de wustita e faialita.

- Na figura 45 com um aumento de 1000X mostra uma inclusão alargada, com duas fases. A primeiro ponto, uma fase cinza clara de wustita, e a segundo ponto uma fase vítreia de SiO_2 .

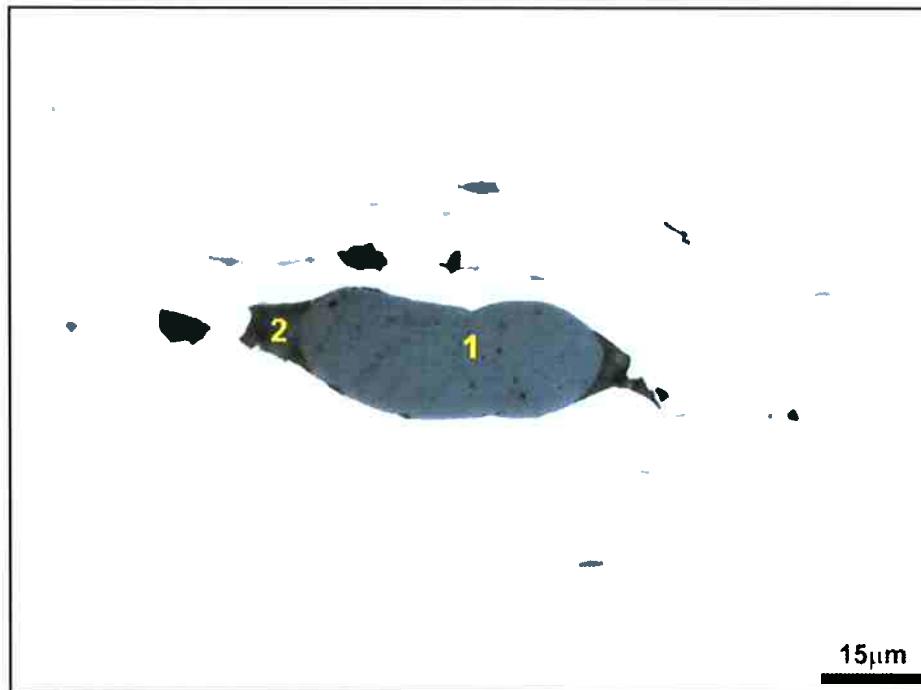


Figura 45. Inclusão amostra 130 região II 1000X.

MICROGRAFÍAS REGIÃO III

Esta região tem um alto conteúdo de carbono e grãos de perlita.

- A inclusão que se mostra na figura 46, se podem olhar três fases. No ponto 2, uma fase em forma de dendrita de wustita, no ponto 1 uma fase de faialita e no ponto 3 a matriz de fase vítreo com conteúdo de SiO_2 .



Figura 46. Inclusão amostra 130 1000X.

- Na figura 47, se pode olhar uma inclusão, numa matriz vítrea de SiO_2 com uma fase clara (ponto 2) de faialita, também presente no ponto 1 uma fase de wustita.

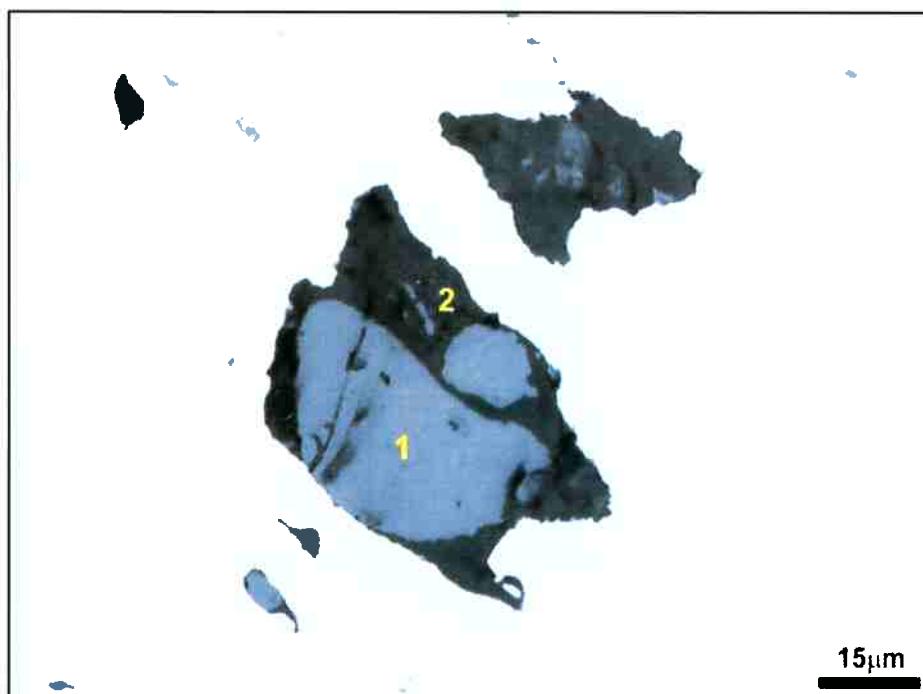


Figura 47. Inclusão amostra 130 região III 1000X.

AMOSTRA 132

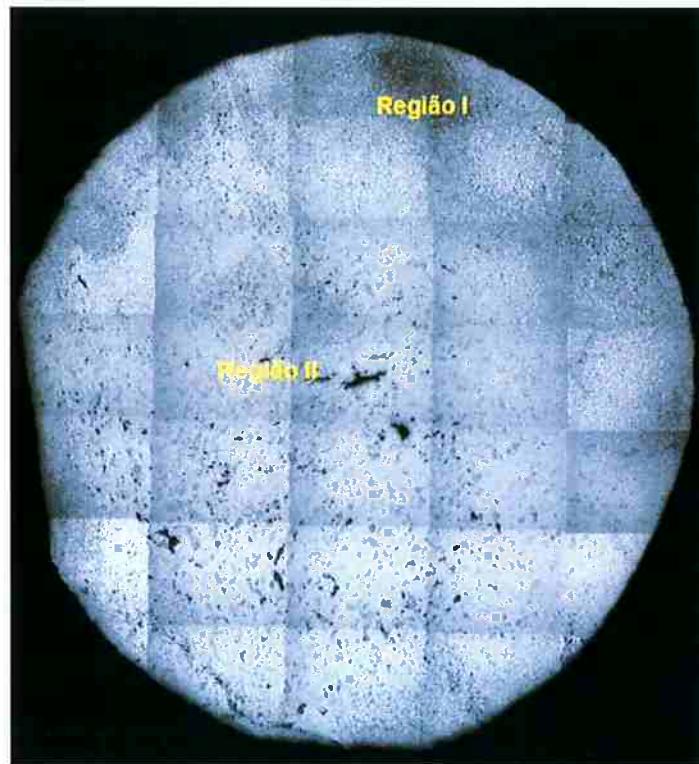


Figura 48. Mosaico amostra 132 com a divisão das regiões pelo conteúdo de perlita para o mapeamento de inclusões.

A amostra 132 se dividiu em duas regiões como se pode ver na figura 48:

- Região I: tamanho de grão pequeno, alto conteúdo de perlita.
- Região II: Tamanho de grão grande de ferrita.

MICROGRAFIAS REGIÃO I

- A inclusão da figura 49 se podem observar três fases. Na primeira é uma fase geométrica que corresponde a ilmeta, esta tem um alto conteúdo de titânio. Na segunda no ponto 2 é faialita. Na terceira no ponto 3 corresponde a dendritas de wustita. A inclusão tem uma matriz vítreia com conteúdo de SiO_2

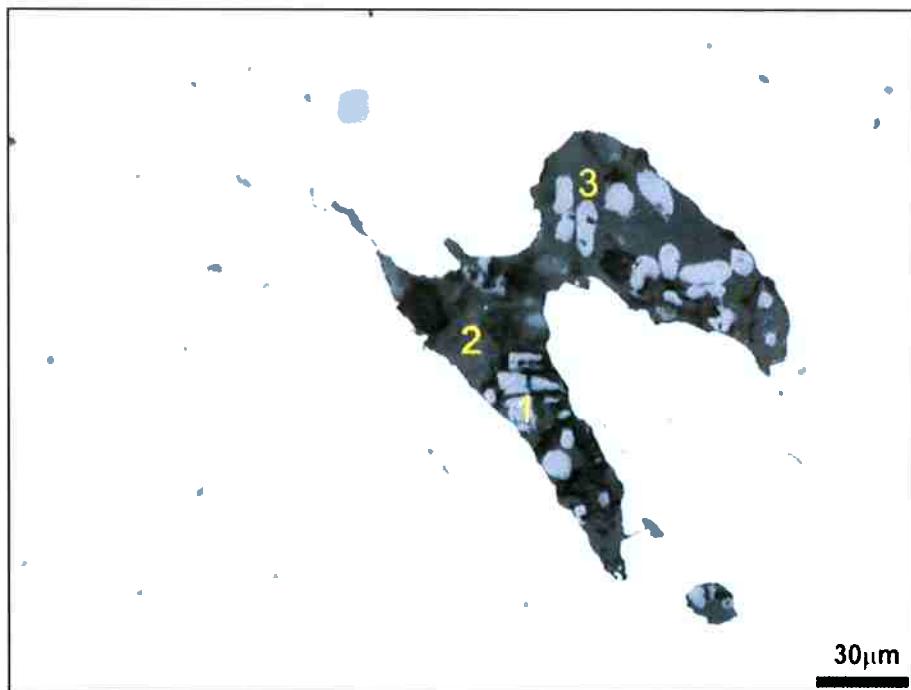


Figura 49. Inclusão amostra 132 com presença de três fases, ilmenita, wustita em forma dendrítica e faialita presente em duas fases. 500X

- Na figura 50 se pode ver uma inclusão com três fases: a primeira no ponto 1, se pode ver uma fase de ilmenita. A segunda no ponto 2 se pode observar faialita, no ponto 3 uma dendrita de wustita. Inclusão se encontra em uma matriz vítrea (cinza escura)

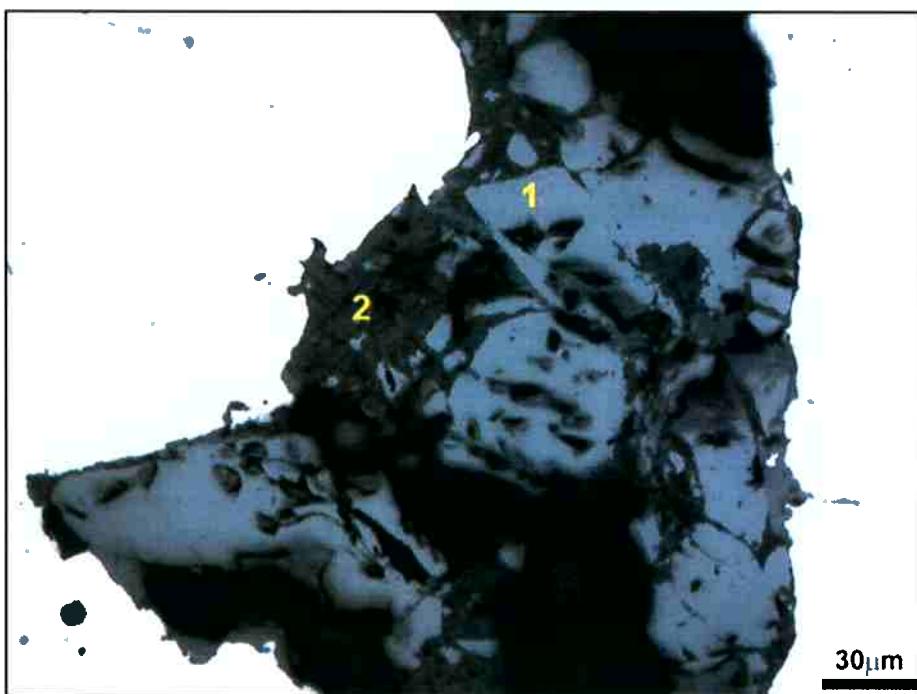


Figura 50. Inclusão amostra 132 500X, com presença de faialita e wustita

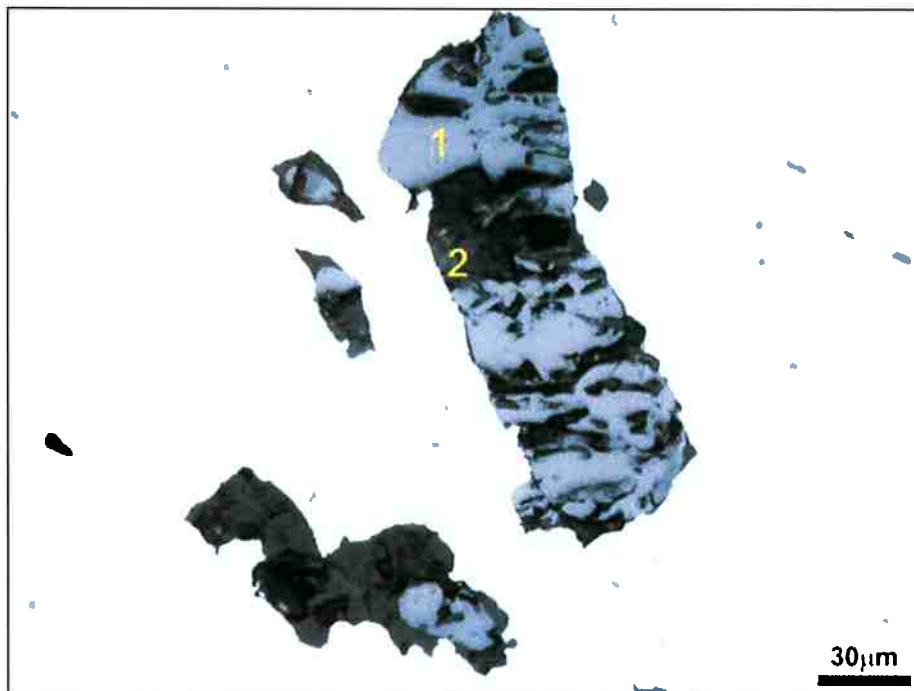


Figura 51. Inclusão amostra 132 com duas fases faialita e wustita. 500X

- Na figura 51, se pode olhar uma inclusão com 3 fases. A primeira do ponto 1 de cor branco corresponde wustita. A segunda do ponto 2 de cor preto é uma fase vítrea de SiO_2 . Finalmente no ponto 3 se encontra uma fase de faialita (cinza).

MICROGRAFIAS REGIÃO II

- Na figura 52, se vê uma inclusão com duas fases. A primeira (ponto 1) se olha uma fase de wustita. A segunda é uma matriz vítrea.

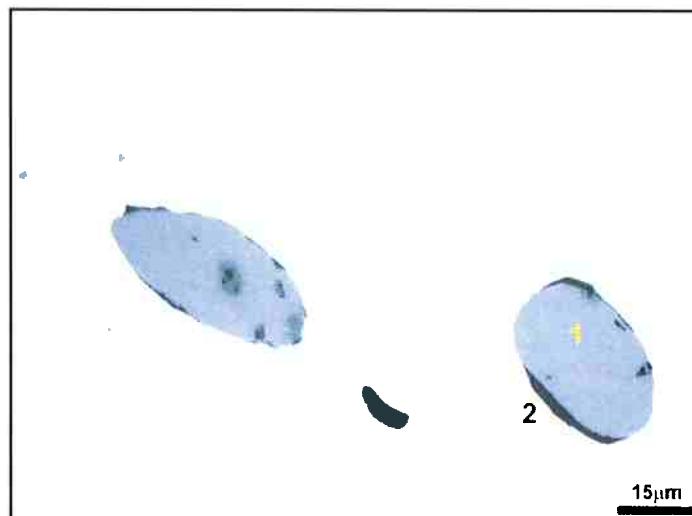


Figura 52. Inclusão amostra 132 1000X.

- A inclusão da figura 53 num aumento de 1000X se pode observar uma inclusão de dois fases. A primeira fase de cor branca corresponde a wustita, se pode ver em forma arredondada. A segunda fase corresponde a faialita (cinza). A inclusão tem uma matriz vítrea (cinza escura).

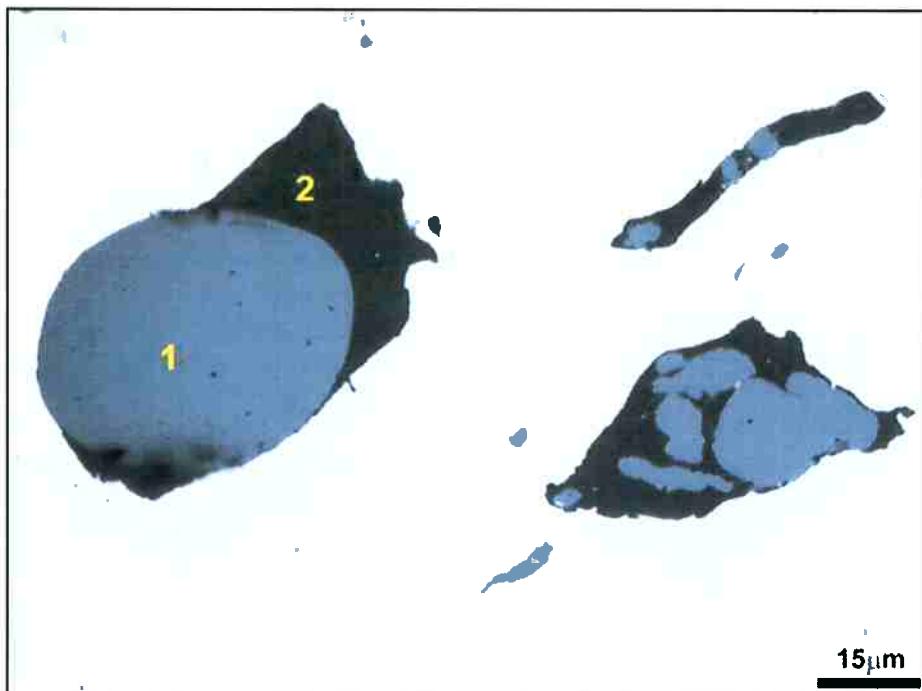


Figura 53. Inclusão amostra 133 1000X.

- Na figura 54, se olha uma inclusão de três fases. A primeira fase é wustita de cor branca e forma arredonda (ponto 1). A segunda fase que corresponde a uma matriz vítreos com conteúdo de SiO_2

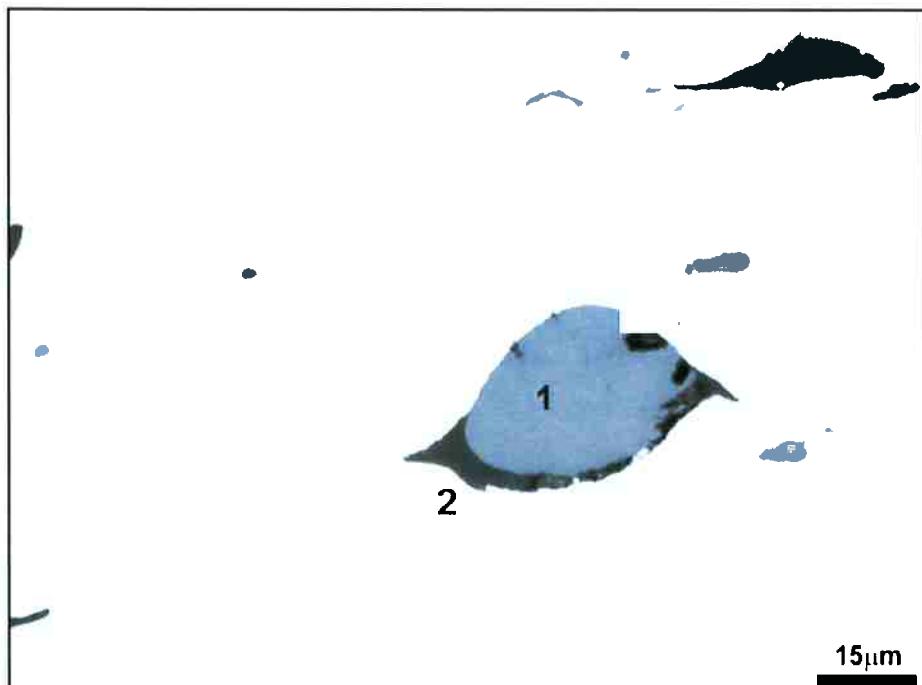


Figura 54. Inclusão amostra 132 1000X, mostrando duas fases: vitrea com conteúdo de SiO_2 e wustita.

AMOSTRA 133



Figura 55. Mosaico amostra 133 mostrando a divisão com três regiões pelo conteúdo de perlita.

Para a amostra 133 (Fig. 55) se fiz uma divisão em três regiões:

- Região I: lugar com alto conteúdo de perlita e tamanho de grão fino.
- Região II: lugar com ferrita e tamanho de grão grosso.
- Região III: tamanho de grão pequeno y alto conteúdo de perlita.

MICROGRAFIAS REGIÃO I

- Na figura 56, se observa uma inclusão de três fases, a primeira, uma matriz vítreo cinza escura com conteúdo de SiO_2 , na fase cinza clara são dendritas de wustita (FeO) e a fase branca angular corresponde a ilmenita.

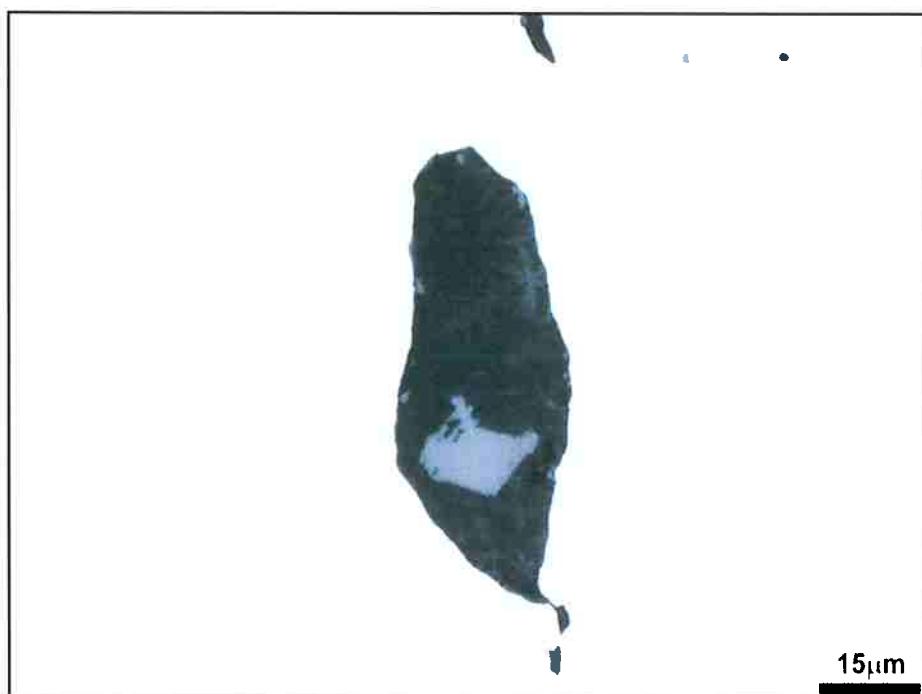


Figura 56. Inclusão amostra 133 1000X.

- Na imagem 57, se pode ver uma inclusão com uma fase arredondada de wustita, com uma fase cinza clara de faialita, numa matriz com conteúdo de SiO₂ cinza escura.

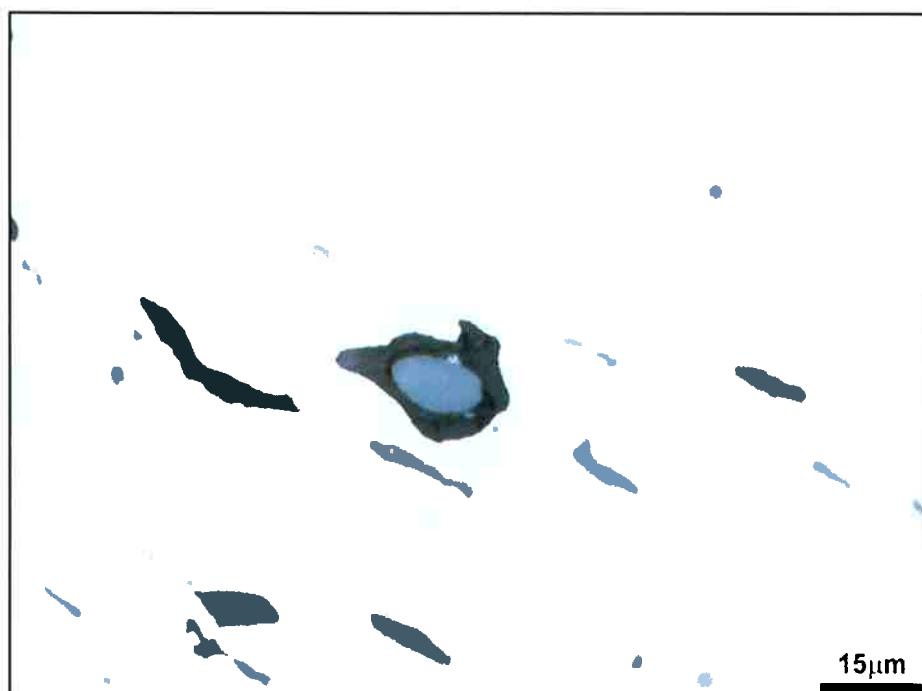


Figura 57. Inclusão amostra 133 1000X.

MICROGRAFÍAS REGIÃO II

- Na Figura 58, se pode olhar uma inclusão bifásica de wustita, e uma fase cinza escura vítrea que contem SiO_2 .



Figura 58. Inclusão Amostra 133 1000X.

- Na figura 59, se pode observar uma inclusão com uma fase de faialita cinza clara e cinza escura.
Há uma fase menor preta que corresponde a SiO_2 .

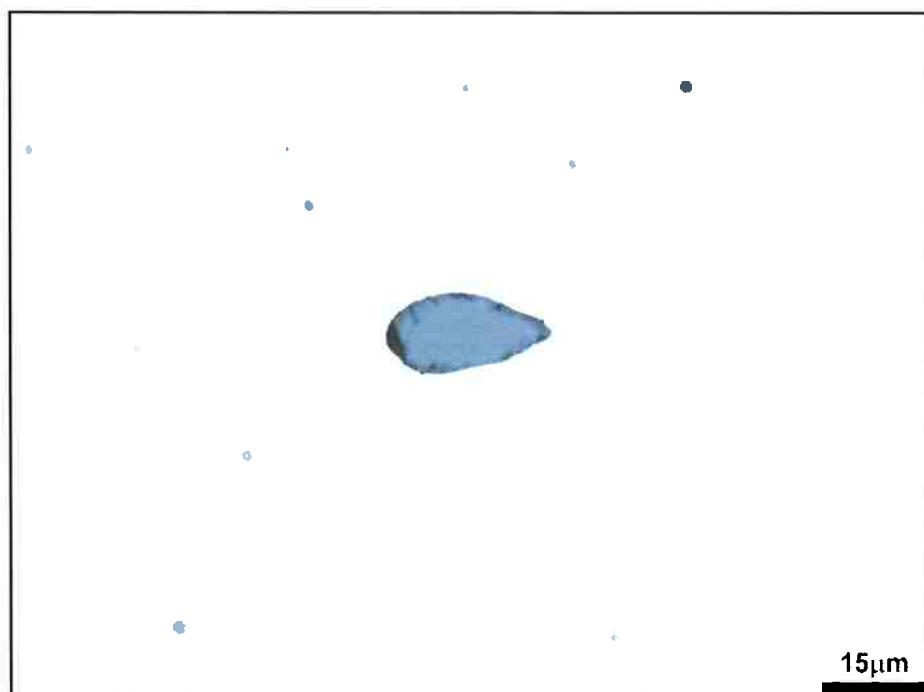


Figura 59. Inclusão Amostra 133 1000X.

MICROGRAFÍAS REGIÃO III

- Na figura 60 se pode observar uma inclusão arredondada com três fases. A primeira (ponto 1) se olha uma fase de wustita branca com forma dendritica, além disso as fases de mesmo cor na inclusão pertencem a wustita com a mesma formação. A segunda fase é faialita que é cinza clara. A matriz da inclusão é uma fase cinza escura vítrea.

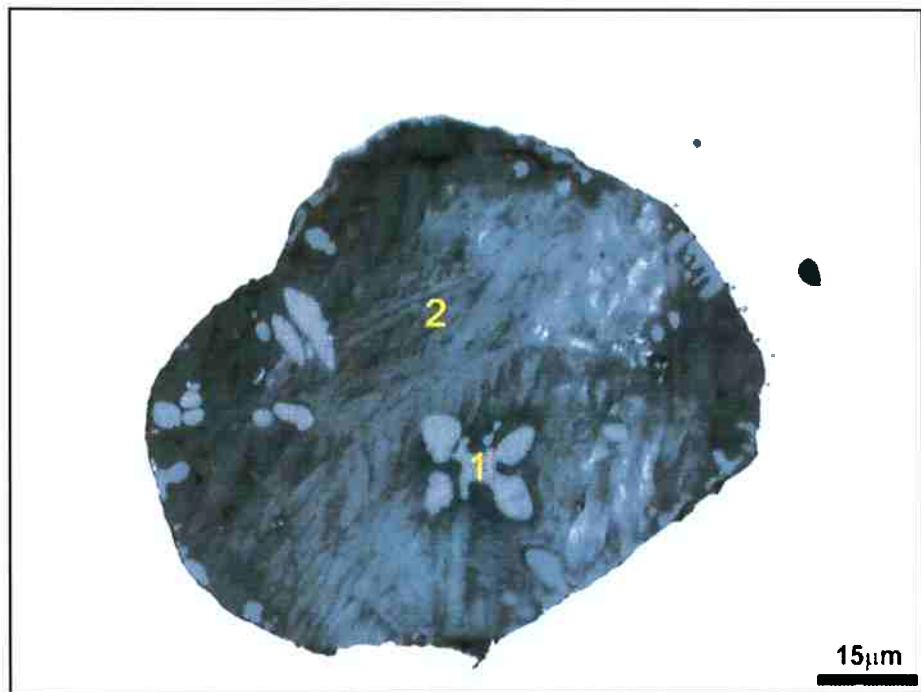


Figura 60. Inclusão amostra 133 1000X

- Se pode observar na figura 61, uma inclusão com três fases. No ponto 1 se observa uma dendrita branca de wustita. No ponto 2 é uma fase de faialita, numa matriz vítrea, finalmente no ponto 3 a fase angular é ilmenita.

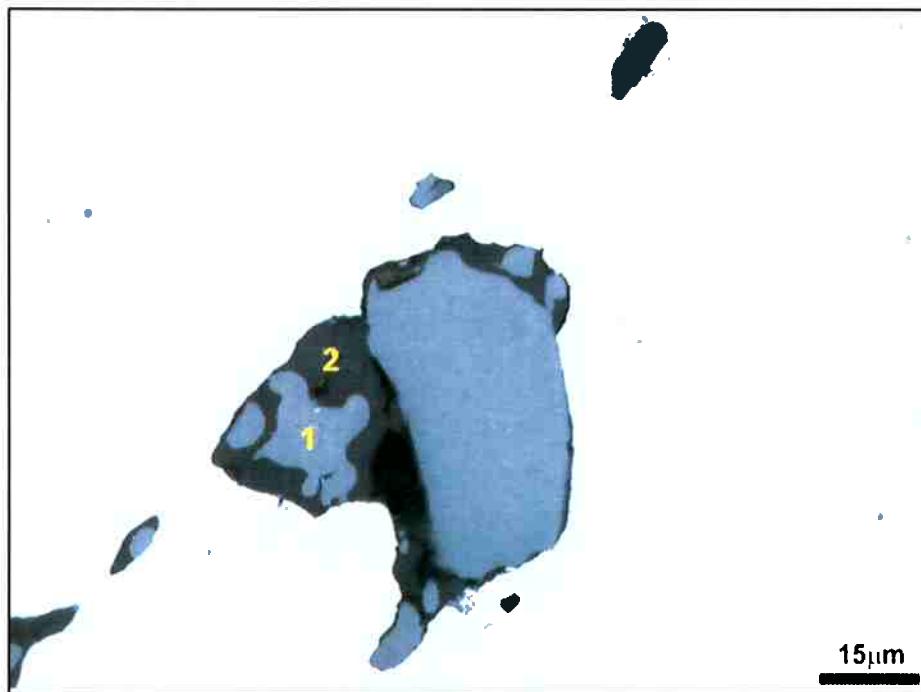


Figura 61. Inclusão amostra 133 1000X.

AMOSTRA 135

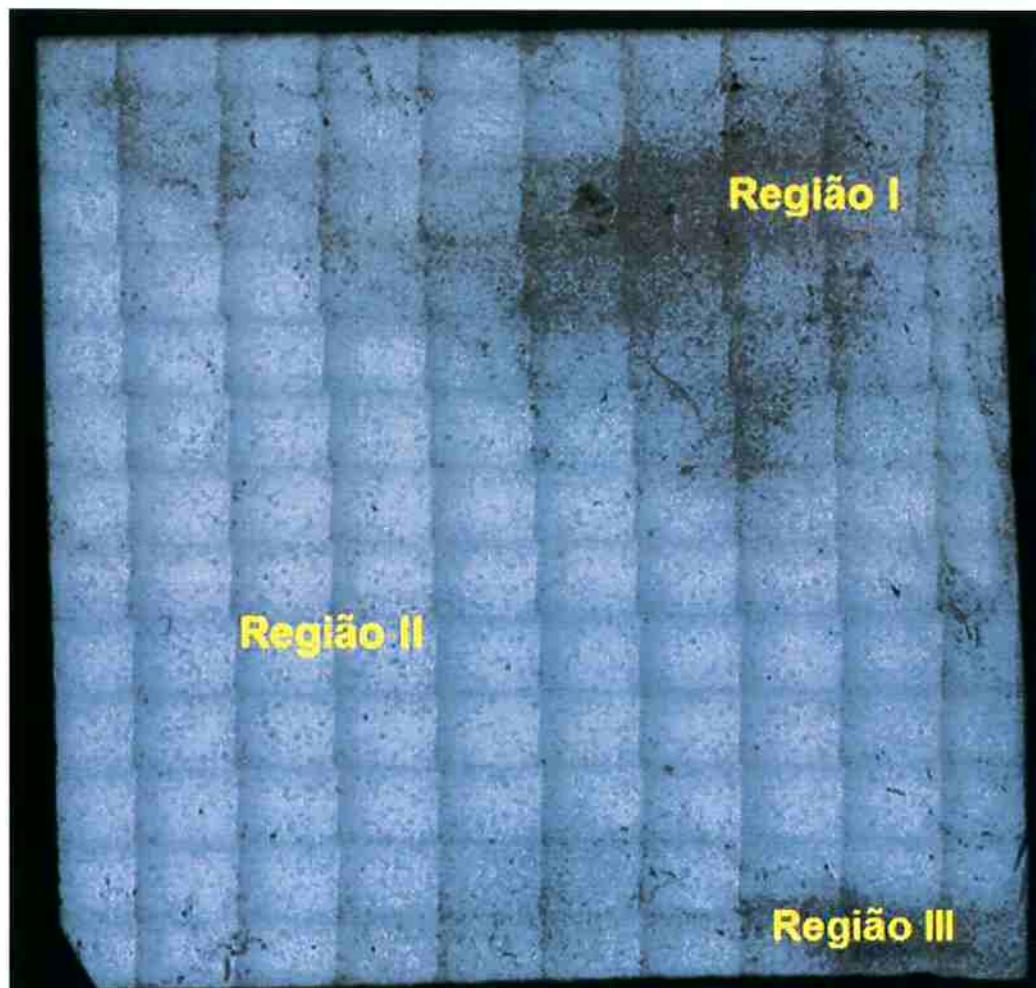


Figura 62. Mosaico amostra 135.

A amostra 135 se dividiu em duas regiões para fazer o mapeamento das inclusões (Fig. 62):

- Região I: Lugar com alto porcentagem de perlita e tamanho de grão pequeno.
- Região II: Grãos de ferrita e tamanho de grão grande.
- Região III: Alto porcentagem de perlita e tamanho de grão pequeno.

MICROGRAFÍAS REGIÃO I

- Na figura 63, se podem observar duas inclusões. No ponto 1 se olha uma fase geométrica que é identificada como ilmenita ($FeTiO_3$), no ponto 2 é uma fase de SiO_2 . Na segunda inclusão no ponto 4 há duas fases de faialita, a cinza clara

numa matriz vítrea. Finalmente no ponto 3 é uma dendrita de Wustita (FeO), em toda a inclusão dois se encontram presentes várias dendritas de FeO.

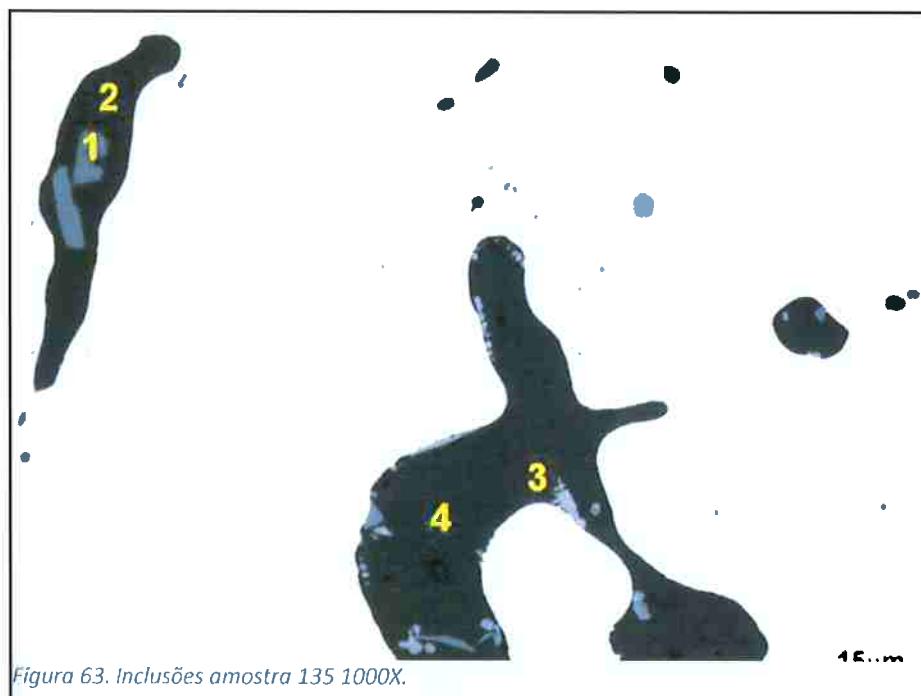


Figura 63. Inclusões amostra 135 1000X.

- Na figura 64, se podem observar três fases. No ponto 1 umas fases geométricas que correspondem a ilmenita. No ponto 2 e a matriz vítrea com SiO_2 . No ponto 3 se pode observar uma dendrita de wustita.



Figura 64. Inclusão amostra 135 1000X.

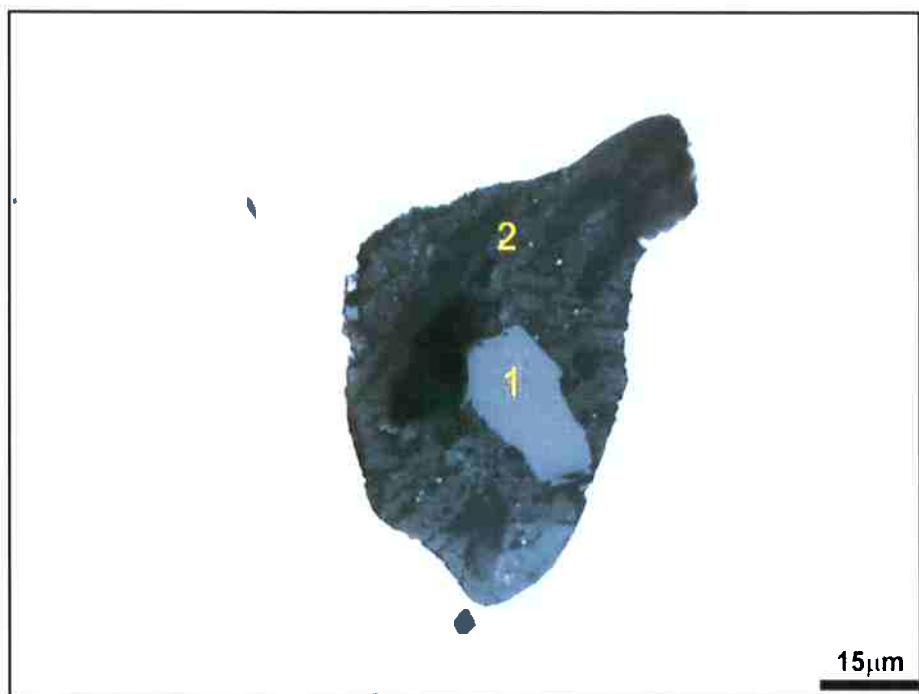


Figura 65. Amostra 135 1000X, se podem observar duas fases na inclusão, uma fase de faialita e a outra de wustita.

- Na inclusão mostrada na figura 65 se podem ver três fases. A ponto 1 se pode ver uma fase geométrica que corresponde a ilmenita. No ponto 2 se pode observar uma fase de faialita (cinza clara), e finalmente tem uma matriz vítrea.

- Na Figura 66 se pode observar uma inclusão com três fases. A fase geométrica branca (ponto 2) corresponde a ilmenita, A fase cinza a matriz vítrea (ponto 1). A formação dendrita no ponto 3 é wustita.

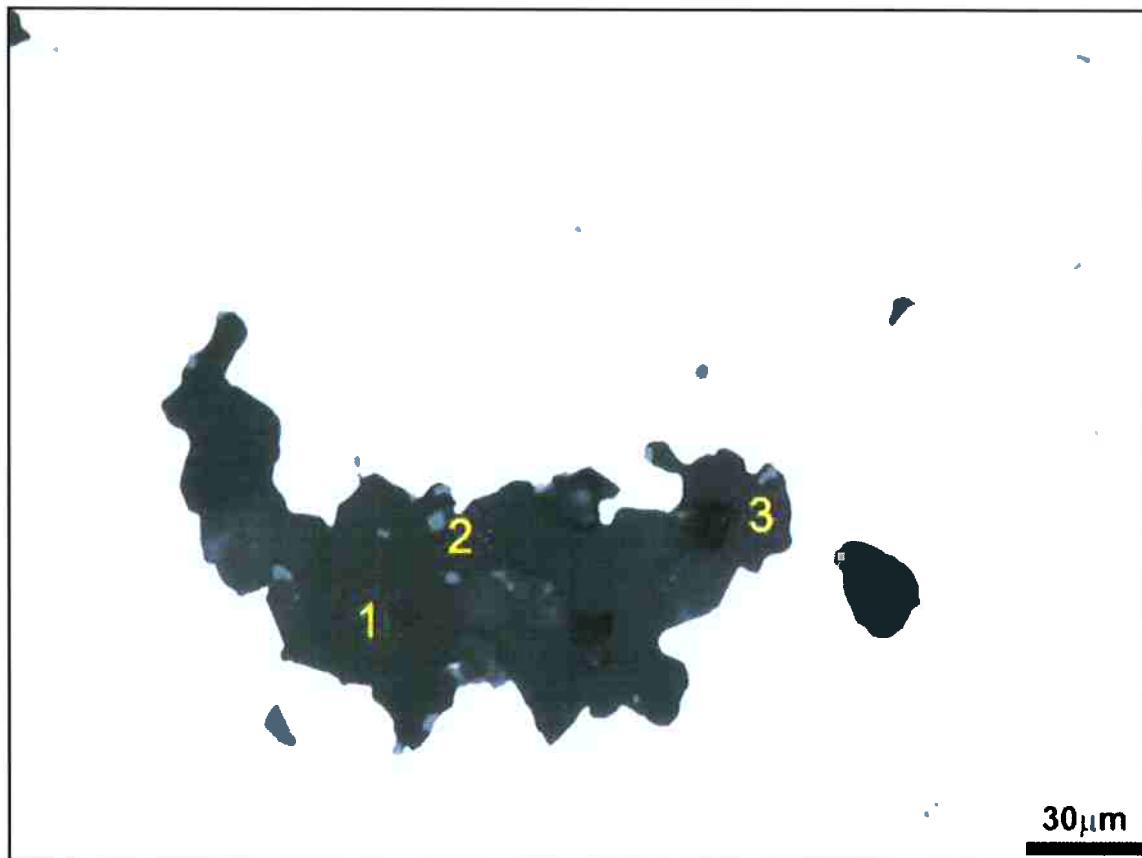


Figura 66. Inclusão amostra 135 500X.

MICROGRAFIAS REGIÃO II

- A inclusão mostrada na figura 67, se podem observar duas fases. No ponto um se observa uma fase cinza clara que corresponde a wustita. No ponto 2 uma fase cinza escura que é a matriz vítrea

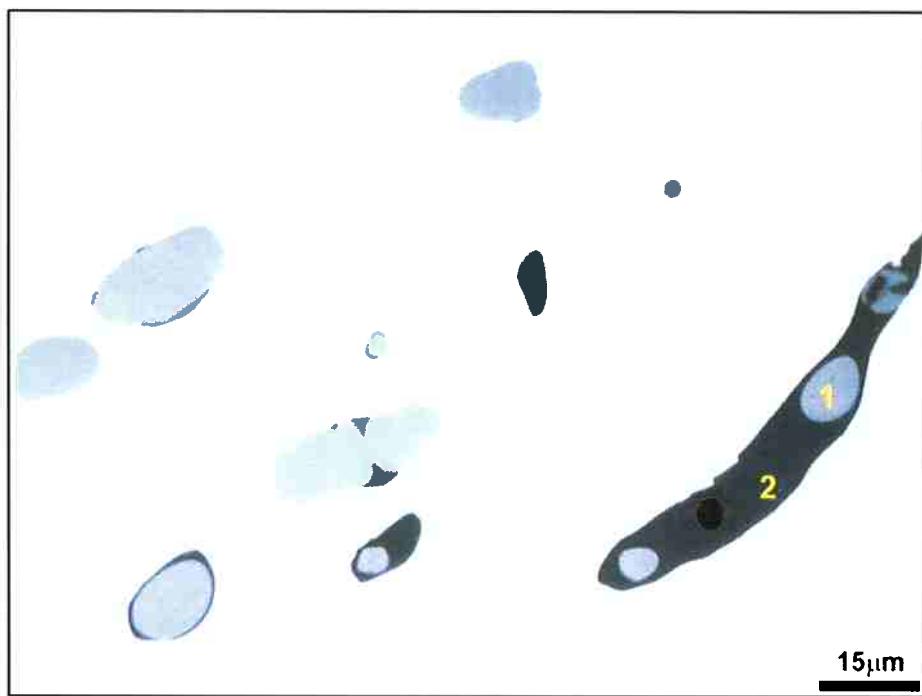


Figura 67. Inclusão amostra 135 1000X.

- Na figura 68 se pode observar uma inclusão com duas fases. A primeira (ponto 1) se pode observar uma fase de wustita. A segunda (ponto 2) é a matriz vítrea.

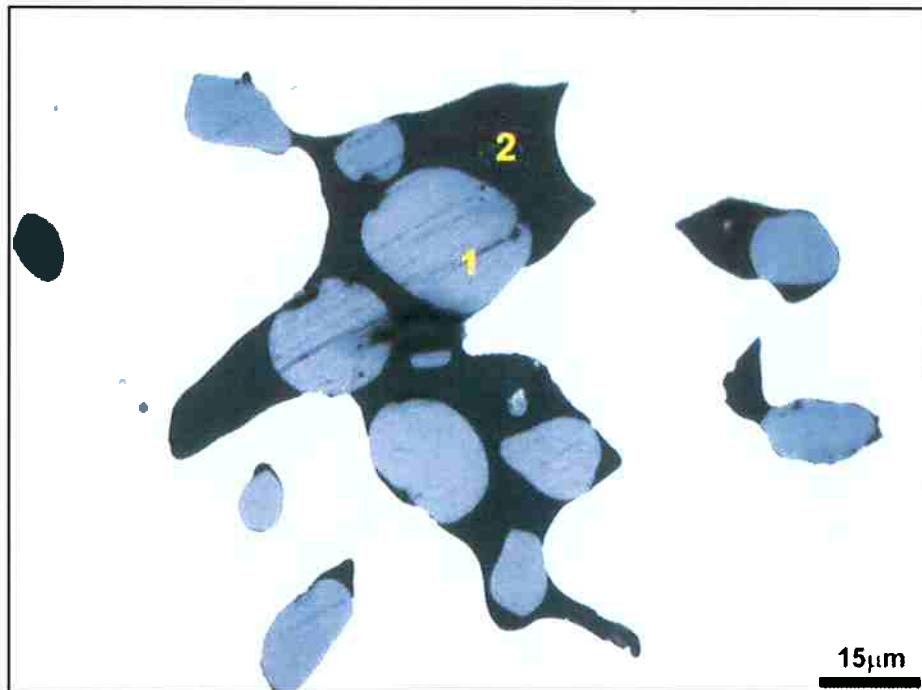


Figura 68. Inclusão amostra 135 1000X

- A inclusão da Figura 69, se podem ver duas fases. A primeira fase (ponto 1 de cor branca) corresponde a wustita, o ponto 2 é a matriz vítrea.



Figura 69. Inclusão amostra 135 1000X, com presença de duas fases, vítrea e wustita.

- Na figura 70 se pode olhar uma inclusão de três fases. No ponto 1 e ponto 2 correspondem a faialita seu tonalidade de cinza dependem de o conteúdo de FeO.



Figura 70. Inclusão amostra 135 1000X.

MICROGRAFIAS REGIÃO III.

- Na figura 71 se pode observar uma inclusão com três fases. A primeira (ponto 1) se pode ver uma fase de wustita (FeO). A segunda (ponto 2) uma fase de faialita (cinza). A terceira fase que tem uma forma geométrica, tem um alto conteúdo de titânio esta fase é ilmenita. Finalmente a inclusão tem uma matriz vítrea de SiO_2 .



Figura 71. Inclusão amostra 135 1000X

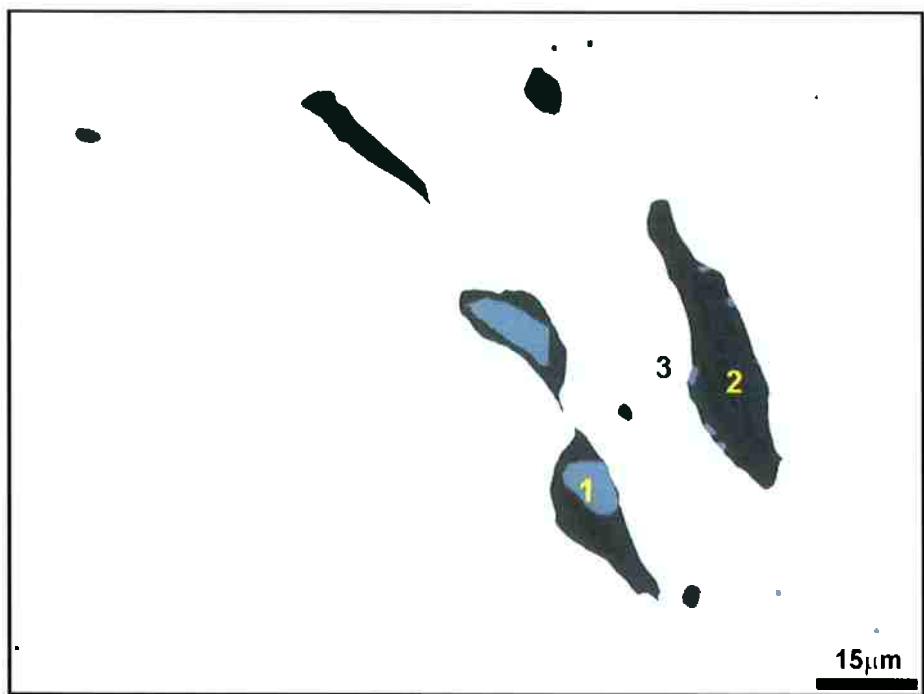


Figura 72. Inclusão amostra 135 1000X

- Na figura 72, se pode observar uma inclusão com duas fases. No ponto 1 se vê uma fase de wustita, no ponto 3 em forma geométrica se pode olhar uma fase de ilmenita, no ponto 2 corresponde a uma fase de faialita, finalmente a inclusão uma matriz de fase vítrea.

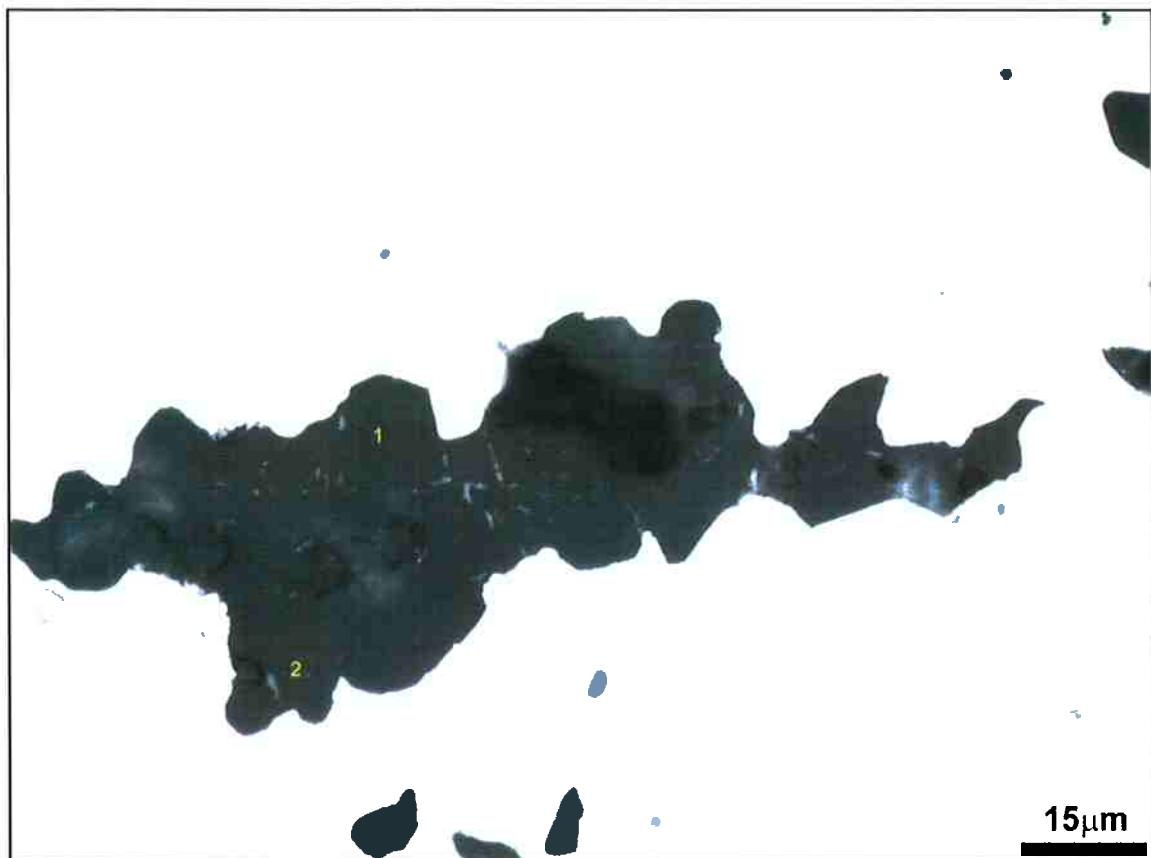


Figura 73. Inclusão amostra 135 1000X com duas fases presentes.

- Na figura 73 se pode observar uma inclusão com duas fases. A fase do ponto 1 de cor cinza é vítrea, do ponto 2 é uma fase de wustita que tem forma dendritica.

5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Nas macrografias se observaram conglomerações de áreas atacadas diferentemente, o que indica heterogeneidade nas amostras, (esta heterogeneidade é mais evidente na amostra 129), segundo as descrições do Colpaert, que aparecem regiões brancas, pretas e cinzas, que é uma indicação de fabricação em estado pastoso.

Isto confirma que o método de refino das amostras foi o método estiriano como o descreve o Leandro Dupré (1) e o coronel Mursa (3), o qual da as propriedades e distribuição da macroestrutura e microestrutura.

A dureza se calculou a partir das macrografias fazendo uma distribuição de regiões para poder analisar melhor a heterogeneidade a partir da microdureza das amostras, se fizeram mais de 8 tomas (dependendo do tamanho das amostras) para cada uma das regiões.

Se dividiu as regiões com muito porcentagem de perlita e tamanho de grão pequeno, e as regiões de ferrita e tamanho de grão grande

A durezas calculadas foram variadas, e para cada uma das amostras varia dependendo das regiões: Para amostra 129 se calcularam cinco microdurezas diferentes, para a amostra 130 três microdurezas, para a amostra 132 dois microdurezas, para amostra 133 quatro microdurezas e para amostra 135 cinco microdurezas.

A continuação na Tabela 14 se mostraram as medidas de dureza em HV para cada uma das regiões. Na tabela 15 se mostraram a classificação das regiões por seu conteúdo de perlita.

Se pode observar que nas regiões que contem maior porcentagem de perlita têm uma maior dureza que as regiões com grãos de ferrita.

Tabela 14. Resumo das medidas de durezas por regiões nas cinco amostras.

AMOSTRA	MICRODUREZA [HV]				
	REGIÃO I	REGIÃO II	REGIÃO III	REGIÃO IV	REGIÃO V
129	141.8	101.42	124.5	143.4	122.3
130	180.4	130.4	182.4	-	-
132	166.8	129.8	-	-	-
133	157.7	128.14	132.5	158.8	-
135	169.75	137.87	145.5	150.12	125.8

Tabela 15. Distribuição das regiões por porcentagem de carbono.

AMOSTRA	REGIÃO I	REGIÃO II	REGIÃO III	REGIÃO IV	REGIÃO V
129	Perlita	Grãos de Ferrita	Grãos de Ferrita	Perlita	Perlita
130	Perlita	Grãos de Ferrita	Perlita	-	-
132	Perlita	Grãos de Ferrita	-	-	-
133	Perlita	Grãos de Ferrita	Grãos de Ferrita	Perlita	-
135	Perlita	Grãos de Ferrita	Perlita	Perlita	Grãos de Ferrita

Segundo as interpretações depois de o ataque descritas no livro de Colpaert (16), se pode descrever a heterogeneidade das amostras a partir das medições de microdureza devido a que uma das afirmações feitas no livro, é que as regiões brancas têm presença de maior conteúdo de carbono têm maior dureza. Em todas as amostras se pode olhar áreas atacadas diferentemente de diferentes tonalidades, cinza, preto e branca.

Esta afirmação se confirma não só pelas macrografias, mas também, a partir das microdurezas tomadas por regiões em todas as amostras onde são coincidentes as regiões.

Se presentaram valores maiores de dureza nas partes que têm maior conteúdo de perlita⁷.

A medida de fração volumétrica das inclusões mostrou:

O fração volumétrica calculada das amostras varia entre 2 e 5 %. As amostras menores têm maior fração volumétrica, na tabela 16 se pode observar o desvio padrão para cada uma das amostras e seu porcentagem de fração volumétrica das inclusões.

Tabela 16. Fração Volumétrica das Amostras.

AMOSTRA	DESVIO PADRÃO	%FRACAO VOLUMETRICA DAS INCLUSÕES	%FRACAO VOLUMETRICA DAS INCLUSÕES
129	2,9	4,6	5
130	0,9	2,8	3
132	1,2	1,6	2
133	0,85	0,86	2
135	1,9	1,88	2

Além disso o ataque químico revelou, sistematicamente, a presença de dois tipos de microestrutura nas 5 amostras investigadas: região de grãos grandes de ferrita, é a região de grãos pequenos, com perlita.

⁷ Os resultados por valores e divisão de regiões se podem olhar nas tabelas 14 e 15 respectivamente

A fração de área da região de grãos grandes foi sempre maior que a fração de área da região de grãos pequenos, as conglomerações de perlita sempre se encontraram em torno de a superfície da amostra, isto é seguramente pôr o método de fabricação do ferro (13), por estiriano, que ao ter um contato direto com o carvão no forno em estado pastoso (nunca se encontrava em estado completamente líquido), o conteúdo de carbono ficava na superfície, além disso o tamanho de grão pequeno se apresenta pôr o posterior refino mecânico que era por forja ou laminação, segundo as memórias de Leandro Dupré da fábrica de ferro de Ipanema (1).

Além disso se observou que a distribuição de inclusões na amostra é aparentemente igual nos dois tipos de microestruturas observadas.

No mapeamento das inclusões em todas as amostras se observou que todas as amostras têm 4 fases principais presentes: faialita, ilmenita, wustita e matriz vítreia de SiO_2 , estes resultados foram comparados com as amostras analisadas na dissertação de Rafael Rocha Maia (5) onde se encontram resultados da microanálise.

Segundo os resultados de Rafael, as fases angulares geométricas presentes nas inclusões são a ilmenita que é uma fase rica em titânio seu fórmula química é FeTiO_3 . As fases arredondadas brancas ou que se encontram em forma de dendrita são fases de wustita (FeO), esta fase sempre se encontra presente pelas condições oxidantes presentes no forno do refino (5) (13) e posterior forjamento ou laminação (3). A fase cinza presente é faialita ($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) aparece na amostras si a carga do mineiro tem alto conteúdo de sílica, e pelos agentes redutores dependendo da temperatura do trabalho (5). Também a fase vítreia presente, pelos óxidos de silício, alumínio, magnésio, entre outros⁸ ao ter um ponto de solidificação menor tornando a escória líquida na temperatura de forjamento formando a fase, esta fase têm um alto conteúdo de SiO_2 .

Se viu uma tendência de aglomeração de inclusões com fases ilmenita, faialita, wustita (Em particular se presenta em forma de dendritas ou arredondada) numa matriz vítreia unicamente nas regiões com alto porcentagem de perlita e tamanho de grão menor, além disso também se observou que estas regiões se encontram em torno da amostra, o que indicam que ficaram capturadas durante um refino mecânico que se utilizava

⁸ A quantidade total de óxidos presentes na fase vítreia se descreve na dissertação de Rafael (5).

tanto para a remoção de escoria como para dar-lhe a forma (3) e melhorar as propriedades superficiais do material.

Nas regiões com presença de ferrita e grãos de maior tamanho, as inclusões apresentaram unicamente presença de fases de wustita arredondada e matriz vítrea.

6. CONCLUSÕES

As cinco amostras presentam uma macroestrutura muito variada, regiões que pelo ataque químico são de diferentes tonalidades⁹, o que é uma indicação que ferros fabricados em estado pastoso, o que também é uma confirmação de sua fabricação pelo processo estiriano.

A distribuição das inclusões é muito heterogênea, há áreas com conglomerações de inclusões e outras mais limpas. Seu forma alargada indica que algumas amostras foram fabricadas por laminação ou forjamento, o qual era um método de refino na fábrica de ferro de Ipanema.

A microdureza variou muito dependendo da região. As regiões com maior porcentagem de carbono são as quais têm um maior valor de dureza.

Se posso olhar que a matriz metálica é muito variada, há áreas que têm alto conteúdo de perlita e outras só com grãos de ferrita.

As fases das inclusões são muito heterogêneas, dependendo da ubiquação da inclusão na microestrutura, varia sua composição química¹⁰. Nas regiões com presença de perlita e tamanho de grão menor se encontram fases de wustita (forma arredondada e dendrítica, FeO), ilmenita (FeTiO₃), Faialita (2FeO.SiO₂) e uma fase vítreia com alto conteúdo de SiO₂, esta fase sempre é a matriz da inclusão.

As regiões mais limpas, com grãos de ferrita e tamanho de grão maior presentam fases só de wustita (FeO) e matriz vítreia¹¹, isto pela descarbonatação que sofre o material durante sua fabricação.

Todos os fatores, as características nas macrografias, de dureza, fração volumétrica das inclusões e a composição as inclusões e são indicadores de que as amostras analisadas neste trabalho presentam uma grande heterogeneidade, e por tanto seus

⁹ Livro de Colpaert (17).

¹⁰ Neste trabalho não se fiz o microanálise, este trabalho se baseou na dissertação de Mestrado de Rafael Rocha Maia, quem trabalhou em amostras fabricadas igualmente em Ipanema (5).

¹¹ Esta fase está composta por vários óxidos de ferro (5), mas o SiO₂ se encontra em maior quantidade.

propriedades são variadas. Os métodos de fabricação e refino, intervierem de maneira significativa na microestrutura e macroestrutura do material.

A qualidade das amostras fabricadas em Ipanema neste trabalho se avaliou a partir das medições da microdureza. Em nenhuma região de cada uma das amostra este valor foi igual, independentemente de que se as regiões presentaram alto porcentagem de perlita ou ferrita. O qual é um indicador de que estas amostras presentam uma variação de suas propriedades em todos seus pontos de seu seção transversal o qual é confirmado pelas características das macroestruturas no livro de Colpaert¹².

Embora para ser um ferro desse tempo, os analises feitos neste relatório são a confirmação das declarações do Coronel Joaquim de Souza Mursa onde o ferro de Ipanema é considerado de boa qualidade¹³.

¹² Livro de Hubertus Colpaert (16).

¹³ Afirmação feita pelo coronel Joaquim de Souza Mursa em seu relatório sobre a fábrica de Ferro de Ipanema Mursa (3).

7. ANEXOS

7.1. ANEXO I TRADUÇÃO PROCESSO ESTIRIANO EM UMA SÒ FUSÃO

§ 1187. Pelo método estiriano normalmente se refina um excelente ferro gusa, que passa rapidamente ao estado de ferro dúctil. A fusão é feita suavemente. Não é preciso revolver [soulèver; revolver e levantar a lupa no banho de escória] a lupa; eleva o bolo; o refino do metal é realizado por meio da sorne e das battitures, que se utiliza com mais ou menos abundância nos fornos de reaquecimento das lupas no momento do estiramento dela em barra. Este método recebeu algumas vezes o nome estiriano-valão; ele difere efetivamente do método valão pelo tamanho das lupas; refinadores que trabalham com o método valão também se dispensam de revolver a lupa, quando operando com um bom gusa branco obtido por sobrecarga de minério [operação para manter a temperatura do AF necessária à marcha fria]. O cadinho costuma ser construído com chapas de ferro fundido; tem um comprimento de 78 cm, largura 62 e 52 de profundidade; mas é revestido internamente com pó de carvão de maneira que as dimensões do cadinho sejam reduziram em 30-36 centímetros de diâmetro e 20 a 23 de pró-profundidade. Devido à grande quantidade de pó de carvão que está no cadinho, o mais frequente é ela seja construído em alvenaria. O algaraviz tem uma inclinação mais forte de 25 a 30 graus. No entanto, esta regra não é geral; há operários que nem sequer dão cinco graus ao algaraviz.

Acima do contravento está uma parede vertical que se ergue até a chaminé. Esta disposição não tem inconveniente; porque não é preciso trabalhar com ringards [barra comprida de ferro fundido e ponta acerada para mover ou retirar a lupa do cadinho], o que exigiria mais esperto, e porque o gusa não é empregado na forma de lingotes de gusa [gusa entra no forno em pequenos pedreiros]; não há necessidade de que a área do forno esteja aberta desse lado.

Gusa está em forma de placa fina [folha] ou placas; faz-se de três a quatro trousses [kits de gusa] que dão uma lupa com 75 a 100 kg. Esses kits são segurados com tenazes, e estão dispostas de modo que a parte que deve entrar em fusão esteja 13

cm acima e a 10 cm adiante do algaraviz. Durante a fusão do gusa, o ferro refinado em operação anterior é aquecido para ser forjado; mas não se começa a fusão antes de pelo menos a metade das lopins [é a forma que toma a lupa depois de ser dividida em quatro partes ou mais]; é então que se coloca no forno o primeiro kit [trousse] junto ao contravento [face do cadiño oposta ao algaraviz]. A medida que o cadiño é liberado da primeira trousse, o segundo e o terceiro kit são sucessivamente introduzidos no cadiño; os kits devem avançar em direção ao algaraviz ao mesmo tempo, o primeiro kit estaciona em frente do algaraviz; o segundo ocupa o meio do cadiño e o terceiro fica junto ao contravento. Quando o primeiro kit está completamente fundido, é substituído pelo segundo e assim por diante. A lupa está pronta assim que a fusão é concluída: então ela retirada sem demora do cadiño e submetida à martelagem e cortada em pedferro [lopins]; as lopins são levadas ao forno para serem reaquecidas, enquanto que o trabalha sob o martelo as deixa limpas [refino mecânico]. Em seguida, prepara-se o cadiño para outra fusão.

Atira-se uma grande quantidade de carepa [battitures] sobre as lopins quando elas estão sendo reaquecidas. Esse procedimento é fundamental para promover a descarbonização da massa fundida. Faz-se isso também para promover o refino do metal em fusão lenta. As folhas de gusa são colocados a uma grande altura acima do algaraviz; mas são as adições de escória doces que operam o refino, como no processo anterior [precedente ao estiriano, no livro do Karsten]. Quando um pedferro de ferro separa-se do kit [trousse], o operário deve trazê-lo ao vento e colocá-lo em contato com a escória. Se após a liquefação de todo gusa a lupa parece muito mole, ela é regada com água e em seguida submetida ao martelo.

Aquece-se as lopins [tarugos] nas escórias ricas para oxidar o carbono que restava nelas; é preciso ter muito cuidado nesta operação. Estira-se as lopins no martelo grande até que formem barras, que são submetidas ao martinete para serem transformadas em barras menores.

O processo estiriano em uma única fusão, tal qual descrito aqui, exige um gusa puro e muito fácil de lidar no refino. É por isso que os trabalhadores que seguem este processo somente empregam folhas de gusa calcinadas floss caverneux [fluxo cavernoso]

De acordo com o Sr. Schindler, a perda seria apenas 8 por cento; Ainda segundo o

autor, o mestre refinador é obrigada a produzir 304 quintais de barras de ferro [15.200 kg] para 336 quintais de gusa [16.800 kg]; Embora os dados não sejam inteiramente exatos, é certo que as perdas raramente ultrapassam 10 por cento. Por outro lado, é certo que nas forjas de refino o consumo de carvão é de 20 metros cúbicos por 1000 quilos de ferro obtido, incluindo o combustível utilizado para a calcinação das folhas de gusa. O grande consumo é devido à extrema lentidão com que a fusão é executada; e também pela elevada perda de calor porque a área do forno em torno do cadiño não é guarnecido com pó de carvão e charbonaille [carbonada]; o vento, se direcionado mais para o alto, provocaria uma combustão inútil *.

O processo estiriano requer gusa muito puro. E pouco recomendável, porque exige um grande dispêndio de combustível.

* Na Alemanha, utiliza-se no refino sempre o carvão de madeira de pinho e abeto (tipo de conífera), cujo peso do metro cúbico varia de 136 a 150 kg. Enquanto que o metro cúbico do carvão de madeira dura pesa de 200 a 240 kg. O tradutor. ¹⁴

7.2. ANEXO II TEXTO ORGINAL EM FRANCÊS, PROCESSO DE ESTIRIANO EM UMA SÓ FUSÃO.

¹⁵1187. Par la méthode styrienne on affine ordinairement une excellente fonte passant très-vite à l'état de fer ductile. On la fait fondre doucement. On ne soulève pas le gâteau; l'affinage du métal se trouve effectué au moyen de la sorde et des battitures, qu'on emploie avec plus ou moins d'abondance pendant les chaudes qu'on donne aux lopins pour les étirer. Cette méthode a reçu quelquefois le nom de *styrio-wallonne*; elle ne diffère effectivement de la méthode wallonne que par la grosseur des loupes : les forgerons qui travaillent d'après ce dernier procédé se dispensent aussi de soulever le gâteau, quand ils opèrent sur une bonne fonte blanche, obtenue par surcharge de minerais. Le creuset est quelquefois construit avec des plaques de fonte; sa longueur est de 78 centime, sa largeur de 62 et sa profondeur de 52; mais on le garnit de fraisil de manière qu'il ne reste qu'un creux de 30 à 36 centim. de diamètre et de 20 à 23 de profondeur.

¹⁴ C. B. J. Karsten, *Manuel de la Métallurgie du Fer, Seconde Édition*. Tradução pelo professor Paulo Eduardo Martins Araújo.

¹⁵ C. B. J. Karsten, *Manuel de la Métallurgie du Fer, Seconde Édition*, Texto original sobre Processo de Estiriano em uma só fusão P. 117- 119.

A cause de la grande quantité de fraisil qui se trouve dans l'intérieur du creuset, on le construit le plus souvent en ferronnerie. La tuyère a une pente des plus fortes; elle plonge de 25 à 30 degrés. Toutefois cette règle n'est pas générale; il existe des ouvriers qui ne donnent même que cinq degrés à la tuyère.

Au-dessus du contrevent règne un mur vertical qui s'élève jusqu'à la cheminée. Cette disposition n'a aucun inconvénient; parce qu'on n'a pas besoin de travailler le fer avec des ringards, ce qui exigerait plus d'espace, et parce que la fonte n'est pas employée sous forme de gueuse : il est donc inutile que l'aire du foyer soit libre de ce côté.

Le fer cru est en forme de blettes ou de plaques; on en fait des trousse dont trois ou quatre employées pour une loupe pèsent 75 à 100 kilos. Ces trousse, retenues dans des tenailles, sont disposées de manière que la partie qui doit entrer en fusion se trouve à 13 centimètres au-dessus et à 10 centimètres en avant de la tuyère. Pendant la fusion de la fonte, on chauffe et on forge le fer de la pièce précédente; mais on ne commence la fusion qu'après avoir forgé au moins la moitié des lopins: c'est alors qu'on introduit dans le feu la première trousse qui se place d'abord près du contrevent. A mesure que le creuset se débarrasse, on y porte successivement la deuxième et la troisième trousse, qui prennent rang derrière la première: celle-ci doit avancer en même temps, jusqu'à ce qu'elle se trouve devant la tuyère; la deuxième est mise alors au milieu du foyer et la troisième plus près du contrevent. Quand la première est entièrement fondu, elle est remplacée par la seconde et ainsi de suite. Dès que la fusion est terminée la loupe l'est aussi : on se hâte alors de la retirer du creuset, delà cinglé et de la couper en lopins : ceux-ci sont portés aussitôt au feu, qui, pendant le travail sous le marteau a été nettoyé. On se prépare ensuite pour une autre fusion.

On jette une assez grande quantité de battitures sur les lopins quand on les chauffe, d'autant plus qu'elles doivent déterminer la décarburation de la masse fondu. C'est aussi pour favoriser l'affinage du métal, que la fusion est lente et que les blettes se trouvent placées à une si grande hauteur au-dessus de la tuyère; mais ce sont principalement les additions de scories douces qui, dans ce travail, comme dans la méthode précédente, opèrent l'affinage, lorsqu'un morceau de fonte se détache de la trousse, l'ouvrier doit le ramener au vent, et le mettre en contact avec les scories. Si

après la liquéfaction de toute la fonte, la loupe paraissait encore trop molle, ou l'arroserait avec de l'eau, pour la faire sortir ensuite et la porter sur le marteau.

En chauffant les lopins dans les laitiers riches, on achève d'en chasser le carbone qu'ils contenaient encore; il faut donc apporter beaucoup de soin à cette opération. On les étire d'abord en gros bidons, qui sont convertis ensuite en petit fer, sous des marteaux plus légers.

La méthode styrienne à une seule fusion, telle que nous venons d'en donner la description, exige une fonte pure et très-facile à traiter au feu d'affinerie. C'est pour cette raison que les ouvriers qui suivent ce procédé n'emploient que des blettes grillées ou des floss caverneux.

Le déchet, d'après M. Schindler ne serait que de 8 pour cent; attendu que, selon cet auteur, le maître forgeron est obligé de fournir 304 quintaux de fer en barres pour 336 quintaux de fonte qu'on lui délivre; et que souvent il fait encore des bénéfices. Quoique cette donnée ne soit pas tout-à-fait exacte, il est cependant certain que le déchet dépasse rarement 10 pour cent. D'un autre côté, je me suis assuré sur les lieux que la consommation de charbon s'élève à 20 mètres cubes par 1000 kilo. de fer obtenu, y compris le combustible employé pour le grillage des blettes. Cette grande consommation est due soit à l'extrême lenteur avec laquelle doit s'effectuer la fusion; soit à une forte perte de chaleur qu'on éprouve, parce que l'aire du foyer autour du creuset n'est pas garni avec du fraisil et de la charbonaille; le vent, se portant alors vers le haut, occasionne une combustion inutile *.

Il est évident que ce procédé exige une fonte très-pure. Au reste il est peu recommandable, puisqu'il entraîne une si forte dépense en combustible.

* Il est à remarquer qu'en Allemagne on brûle pour l'affinage de la fonte presque toujours du charbon de bois de pin et de sapin, dont le poids du mètre cube, varie entre 136 et 150 kilos.; tandis que le mètre cube de charbon de bois dur pèse de 220 à 240 kil. Le T.

7.3. ANEXO II TABELAS PARA DETERMINAR A DUREZA VICKERS. (20)

Tabela 17. Tabela para determinar dureza Vickers com uma carga de 300g.

Ein- druck- diago- nale in μ = 0,001 mm	Vickershärte in kg/mm ²									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
16							2019	1995	1971	1948
17	1925	1902	1880	1859	1837	1817	1796	1776	1756	1736
18	1718	1698	1680	1661	1643	1625	1608	1591	1574	1557
19	1541	1525	1509	1494	1478	1463	1449	1434	1419	1405
20	1391	1377	1363	1350	1337	1324	1311	1298	1286	1274
21	1262	1250	1238	1226	1215	1204	1192	1181	1171	1160
22	1149	1139	1129	1119	1109	1099	1089	1080	1070	1061
23	1052	1043	1036	1025	1016	1007	999	990	982	974
24	966	958	950	942	934	927	919	912	905	897
25	890	883	876	869	862	856	849	842	836	829
26	823	817	810	804	798	792	786	780	775	769
27	763	758	752	747	741	736	730	725	720	715
28	710	705	700	695	690	685	680	675	671	666
29	662	657	653	648	644	639	635	631	627	622
30	618	614	610	606	602	598	594	590	586	583
31	579	575	572	568	564	561	557	554	550	547
32	543	540	537	533	530	527	524	520	517	514
33	511	508	505	502	499	496	493	490	487	484
34	481	478	476	473	470	467	464	462	459	457
35	454	452	449	447	444	441	439	437	434	432
36	429	427	425	422	420	418	415	413	411	409
37	406	404	402	400	398	396	394	392	389	387
38	385	383	381	379	377	375	373	371	370	368
39	366	364	362	360	358	357	355	353	351	350
40	348	346	344	343	341	339	338	336	334	333

Tabela 18. Continuação tabela para determinar dureza Vickers com uma carga de 300g.

Ein- druck- diag- nale <i>d</i> in μ = 0,001 mm	Vickershärte in kg/mm ²									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
41	331	329	328	326	325	323	321	320	318	317
42	315	314	312	311	310	308	307	305	303	302
43	301	299	298	297	295	294	293	291	290	289
44	287	286	285	284	282	281	280	278	277	276
45	275	274	272	271	270	269	268	266	265	264
46	263	262	261	260	258	257	256	255	254	253
47	252	251	250	249	248	247	246	245	244	242
48	241	240	239	238	237	237	236	235	234	233
49	232	231	230	229	228	227	226	225	224	223
50	223	222	221	220	219	218	217	216	216	215
51	214	213	212	211	211	210	209	208	207	207
52	206	205	204	203	203	202	201	200	200	199
53	198	197	197	196	195	194	194	193	192	192
54	191	190	189	189	188	187	187	186	185	185
55	184	183	183	182	181	181	180	179	179	178
56	177	177	176	176	175	174	174	173	172	172
57	171	171	170	169	169	168	168	167	167	166
58	165	165	164	164	163	163	162	162	161	160
59	160	159	159	158	158	157	157	156	156	155
60	155	154	154	153	153	152	152	151	151	150
61	150	149	149	148	148	147	147	146	146	145
62	145	144	144	143	143	142	142	142	141	141
63	140	140	139	139	138	138	138	137	137	136
64	136	135	135	135	134	134	133	133	133	132
65	132	131	131	131	130	130	129	129	129	128
66	128	127	127	127	126	126	125	125	125	124
67	124	124	123	123	123	122	122	121	121	121
68	120	120	120	119	119	119	118	118	118	117
69	117	117	116	116	116	115	115	115	114	114
70	114	113	113	113	112	112	112	111	111	111
71	110	110	110	109	109	109	109	108	108	108
72	107	107	107	106	106	106	106	105	105	105
73	104	104	104	104	103	103	103	102	102	102
74	102	101	101	101	101	100	100	99,7	99,4	99,2
75	98,9	98,6	98,4	98,1	97,9	97,6	97,3	97,1	96,8	96,6
76	96,3	96,1	95,8	95,6	95,3	95,1	94,8	94,6	94,3	94,1
77	93,8	93,6	93,3	93,1	92,9	92,6	92,4	92,1	91,9	91,7
78	91,4	91,2	91,0	90,7	90,5	90,3	90,0	89,8	89,6	89,4
79	89,1	88,9	88,7	88,5	88,2	88,0	87,8	87,6	87,4	87,1
80	85,9	86,7	86,5	86,3	86,1	85,8	85,6	85,4	85,2	85,0
81	84,8	84,6	84,4	84,2	84,0	83,8	83,5	83,3	83,1	82,9
82	82,7	82,5	82,3	82,1	81,9	81,7	81,5	81,3	81,1	80,9
83	80,8	80,6	80,4	80,2	80,0	79,8	79,6	79,4	79,2	79,0
84	78,8	78,7	78,5	78,3	78,1	77,9	77,7	77,5	77,4	77,2
85	77,0	76,8	76,6	76,5	76,3	76,1	75,9	75,7	75,6	75,4

8. BIBLIOGRAFÍA

1. **Dupré, Leandro.** *A Memoria sobre a Fábrica de Ferro S. João de Ipanema.* Anais da Escola de Minas de Ouro Preto 1884.
2. **Carta regia 4 de Dezembro de 1810**, [Citada em Septiembre de 2015], disponível em, http://www2.camara.leg.br/legin/fed/carreg_sn/antioresa1824/cartaregia-40011-4-dezembro-1810-571424-publicacaooriginal-94540-pe.html
3. **Souza, J.** *Relatório Apresentado pelo Diretor da Fábrica de Ferro de Ipanema.* 1 de Fevereiro 1875.
4. **Pereira de Moraes, F. A. (1858).** *A História do Ypanema.* Lisboa, Portugal. Imprensa Nacional.
5. **MAIA, Rafael R.** 2014. *Análise de inclusões de escória em amostras metálicas da Fábrica de Ferro de Ipanema.* Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
6. **Landgraf, Fernando José Gomes.** *A PRESERVAÇÃO DA FÁBRICA DE FERRO DE IPANEMA E A ANÁLISE MICROESTRUTURAL ARQUEOLÓGICA DE SEUS OBJETOS.*
7. **Stein, Anna** 2013. Trabalho de formatura: *A técnica de refino de ferro gusa em forno baixo.* Programa de Graduação em Engenharia Metalúrgica da Escola Politécnica da Universidade, São Paulo.
8. **Tylecote., R.F.** *A History of Metallurgy.* Londres : London institute of metals, 1984.
9. **WIKIPEDIA.** Disponível em: <<https://en.wikipedia.org/>>. Consulta efetuada a múltiplos verbetes, nas edições em língua portuguesa, espanhola e inglesa tais como: Henry Cort, Pudlagem, etc.
10. **Payne, P.L.** [Review of **Mott, R.A.** *Henry Cort: The Greater Finer, Creator of Puddled Iron.*], *Technology and Culture* ,Londres 1985 Vol. 4 pp. 842-844.
11. **FLEMINGS, Merton C. e RAGONE, David.** *Puddling: A New Look at an Old Process* V. 12, s.l. : ISIJ International , 2009, Vol. 49 N°12 pp. 1960-1966

- 12. Percy, J. (1868). *Metallurgy, The Art of Extracting Metals form Their Ores, and Adapting Them to various Purposes of Manufacture.* Londres**
- 13. Karsten, C. J. B. *Manuel de la Métallurgie du Fer. Seconde Édition. Tome III***
- 14. Capítulo 5: Laminacion** [Citado em Outubro de 2015], disponível em: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2548/08-MPM-Cap5-Final.pdf?sequence=8>.
- 15. Capítulo 4: Forja** [Citado em Outubro de 2015], disponível em: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2548/07-MPM-Cap4-Final.pdf?sequence=7>.
- 16. Colpaert, Hubertus. *Metalografia dos Produtos Siderurgicos Comuns.* Revisão técnica André Luiz V. da Costa. 4ª Edição. São Paulo : Blucher., 2008.**
- 17. ASTM E3-11: Standard Guide for Preparation of Metallographic.**
- 18. ASTM E384: Standard test method for knoop and Vickers hardness of material.**
- 19. Meyer, K (1954). *Tafeln zur ermittlung der vickershärte.* Berlin: Beauth Vertrieb**
- 20. ASTM E407: Standard Practice for Microetching Metals and Alloys.**
- 21. CALÓGERAS, João Pandiá. *As minas do Brasil e sua legislação.* Rio de Janeiro: Imprensa Nacional. Tomo II, pp 5-268, 1905.**
- 22. A ferro e Fogo** [Citado em 2015], disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/2012/12/10/a-ferro-e-fogo/>