



**Julio César Álvarez Iglesias**

**Development of a digital microscopy system for  
automatic classification of hematite types in  
iron ore**

**Tese de Doutorado**

Thesis presented to the Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos, do Departamento de Engenharia Química e de Materiais da PUC-Rio in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doutor em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos.

Advisor : Prof. Sidnei Paciornik  
Co-advisor: Dr. Otávio da Fonseca Martins Gomes

Rio de Janeiro  
August 2012



**Julio César Álvarez Iglesias**

**Development of a digital microscopy system for  
automatic classification of hematite types in  
iron ore**

Thesis presented to the Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos da PUC-Rio in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doutor em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos. Approved by the Examination Committee:

**Prof. Sidnei Paciornik**

Advisor

Departamento de Engenharia Química e de Materiais – PUC-Rio

**Dr. Otávio da Fonseca Martins Gomes**

CETEM/MCTI

**Prof. Paulo Roberto Gomes Brandão**

UFMG

**Prof. Leonardo Evangelista Lagoeiro**

UFOP

**Dr. Reiner Neumann**

CETEM/MCTI

**Dr. Marcos Henrique de Pinho Maurício**

Departamento de Engenharia Química e de Materiais – PUC-Rio

Rio de Janeiro, August the 9th, 2012

All rights reserved.

## Julio César Álvarez Iglesias

Majored in physics by the University of Havana (Havana, Cuba)...

### Bibliographic data

Álvarez Iglesias, Julio César

Development of a digital microscopy system for automatic classification of hematite types in iron ore / Julio César Álvarez Iglesias; advisor: Sidnei Paciornik; co-advisor: Otávio da Fonseca Martins Gomes. – 2012.

17 f: il. color. ; 30 cm

Tese (doutorado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Química e de Materiais, 2012.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Química – Teses. 2. Engenharia de Materiais – Teses. 3. Minério de Ferro. 4. Cristais de Hematita. 5. Microscopia Digital. 6. Análise de Imagens. 7. Classificação. 8. Microscopia de Luz Polarizada. I. Paciornik, Sidnei. II. da Fonseca Martins Gomes, Otávio. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Química e de Materiais. IV. Título.

CDD: 620.11

To my parents, for their support  
and encouragement.

## Acknowledgments

I would like to first thank my advisor ...

Then I wish to thank ...

## Abstract

Álvarez Iglesias, Julio César; Paciornik, Sidnei (Advisor); da Fonseca Martins Gomes, Otávio (Co-Advisor). **Development of a digital microscopy system for automatic classification of hematite types in iron ore.** Rio de Janeiro, 2012. 17p. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia Química e de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Iron ore is a polycrystalline material created by complex natural processes during geological periods, which give rise to ...

## Keywords

Iron Ore; Hematite Crystals; Digital Microscopy; Image Analysis; Classification; Polarized Light Microscop.

## Resumo

Álvarez Iglesias, Julio César; Paciornik, Sidnei; da Fonseca Martins Gomes, Otávio. **Desenvolvimento de um sistema de microscopia digital para classificação automática de tipos de hematita em minério de ferro.** Rio de Janeiro, 2012. 17p. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia Química e de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O minério de ferro é um material policristalino oriundo de processos naturais complexos durante tempos geológicos, que dão origem ...

## Palavras-chave

Minério de Ferro; Cristais de Hematita; Microscopia Digital; Análise de Imagens; Classificação; Microscopia de Luz Polarizada.

## **Table of contents**

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>Review</b>	<b>14</b>
2.1	Hematite	14
2.1.1	Martite	14
2.1.1.1	Globular	14
2.1.1.2	Escaping percent in a title: 100%	14
<b>3</b>	<b>Conclusions</b>	<b>16</b>
<b>A</b>	<b>Published paper</b>	<b>17</b>



## List of figures

Figure 1.1 Example of thresholding: (a) original image; (b) processed image.[?]

## List of tables

Table 2.1 Main morphologies of hematite.[?]

15

## List of Abbreviations

ADI – Análise Digital de Imagens

BIF – *Banded Iron Formation*

*My beautiful epigraph*

**Wassily Kandinsky**, *Regards sur le passé.*

# 1 Introduction

This is the first chapter...

In this chapter, let's have a nice image:

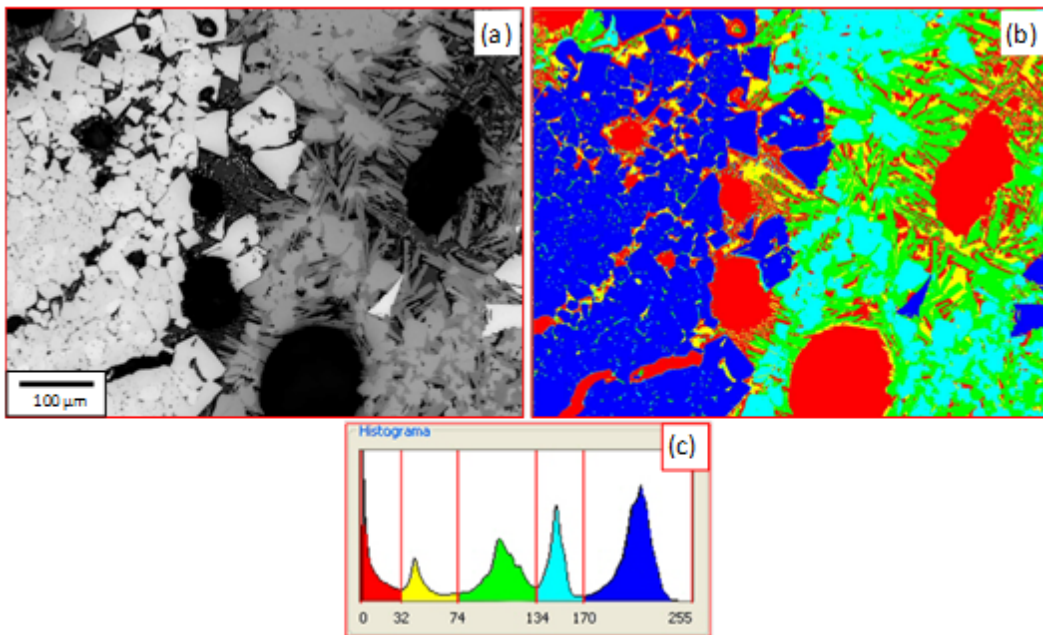


Figure 1.1: Example of thresholding: (a) original image; (b) processed image.[?]

## 2

### Review

This is the second chapter...

In this chapter, let's have a nice table:

#### 2.1

##### Hematite

A hematita é o mineral de ferro mais importante devido a sua alta ocorrência em vários tipos de rochas e suas origens diversas.[?] A composição química deste mineral é  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , com uma fração mássica em ferro de 69,9% e uma fração mássica em oxigênio de 30,1%.[?]

...

##### 2.1.1

###### Martite

A hematita é o mineral de ferro mais importante devido a sua alta ocorrência em vários tipos de rochas e suas origens diversas.[?] A composição química deste mineral é  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , com uma fração mássica em ferro de 69,9% e uma fração mássica em oxigênio de 30,1%.[?]

...

##### 2.1.1.1

###### Globular

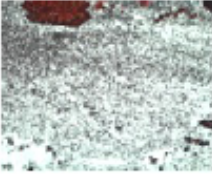

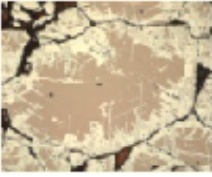
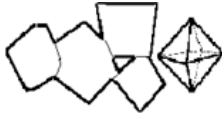
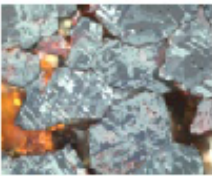

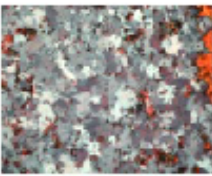

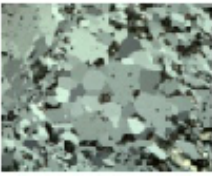
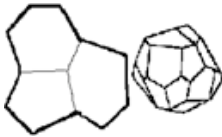
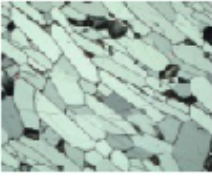

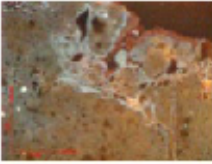

A hematita é o mineral de ferro mais importante devido a sua alta ocorrência em vários tipos de rochas e suas origens diversas.[?] A composição química deste mineral é  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , com uma fração mássica em ferro de 69,9% e uma fração mássica em oxigênio de 30,1%.[?]

...

##### 2.1.1.2

###### Escaping percent in a title: 100%

Table 2.1: Main morphologies of hematite.[?]

Tipo	Características	Forma Textura	Ilustração Esquemática
Hematita Microcristalina	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ Cristais muito pequenos, &lt; 0.01 mm.</li> <li>▷ Textura porosa.</li> <li>▷ Contatos pouco desenvolvidos.</li> </ul>		
Magnetita	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ Cristais euédricos isolados ou em agregados.</li> <li>▷ Cristais compactos.</li> </ul>		
Martita	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ Hematita com hábito de magnetita.</li> <li>▷ Oxidação segundo os planos cristalográficos da magnetita.</li> <li>▷ Geralmente porosa.</li> </ul>		
Hematita Lobular	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ Formatos irregulares inequidimensionais.</li> <li>▷ Contatos irregulares, geralmente imbricados.</li> </ul>		
Hematita Granular	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ Formatos regulares equidimensionais.</li> <li>▷ Contatos retilíneos e junções triplíceis.</li> <li>▷ Cristais compactos.</li> </ul>		
Hematita Lamelar	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ Cristais inequidimensionais, hábito tabular.</li> <li>▷ Contato retilíneo.</li> <li>▷ Cristais compactos.</li> </ul>		
Hidróxidos de Fe (Goethita-Limonita)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ Material cripto-cristalino.</li> <li>▷ Estrutura colorforme, hábito botrioidal.</li> <li>▷ Textura porosa.</li> </ul>		

### 3 Conclusions

Um sistema de microscopia digital com reconhecimento e classificação automática dos cristais de hematita em minérios de ferro foi desenvolvido.

O método utiliza operações tradicionais de processamento digital de imagens e propõe uma segmentação automática de cristais baseada no cálculo da distância espectral, a fim de controlar ...

É fundamental também comentar que ...

Assim, como uma proposta para trabalho futuro, pode-se buscar combinar os dois enfoques...



**A**  
**Published paper**

The following paper was published ...