

CURSO: MESTRADO EM ENGENHARIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS	
UNIDADE PMM 19 – PROCESSOS DE REDUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO	
PROFESSOR: Ramiro Conceição Nascimento	
OBJETIVOS	
Geral: Apresentar os mecanismos associados ao processo global de redução de minérios de ferro.	
Específicos: Apresentar e discutir os diversos mecanismos associados às etapas específicas do processo de redução de minério de ferro, ou seja, as transformações de fases durante as etapas de redução do sistema Fe-O; o processo de gaseificação de carbono; o sistema C-O; discussão dos sistemas Fe-C-O, Fe-H-O e Fe-C-H-O e o conceito de potencial de oxigênio na fabricação de ferro gusa no Alto Forno.	
EMENTA	
1. A etapa Fe_2O_3 - Fe_3O_4 . A etapa Fe_3O_4 - FeO . A etapa FeO - Fe . 2. O sistema C-O. 3. Introdução à Cinética da Gaseificação do Carbono. 4. O sistema Fe-C-O. 5. O sistema Fe-H-O. 6. O sistema Fe-H-C-O. 7. O Processo de Redução via redutor sólido. 8. Diagrama de Ellingham para óxidos. 9. Seminários.	
PRÉ-REQUISITO	
-	
CONTEÚDOS	CARGA HORÁRIA
PARTE TEÓRICA	
1. As etapas de redução de hematita até o ferro: i) apresentação e discussão de todas as morfologias associadas à cada específica etapa de redução; ii) apresentação e discussão de todos os mecanismos propostos associados às morfologias no estado sólido observadas durante o processo de redução de hematita até ferro metálico.	5
2. O Sistema C-O: i) apresentação e discussão das curvas de Boudouard; ii) discussão do efeito da pressão total nas curvas de Boudouard; discussão das misturas CO/ CO_2 que gaseificam o carbono; iii) discussão das misturas CO/ CO_2 que decompõem o CO; iv) discussão do carbono em misturas H_2O e CO_2 .	5
3. Introdução à Cinética da Gaseificação do Carbono: i) mecanismos cinéticos propostos na literatura para a gaseificação do carbono.	5
4. Sistema Fe-C-O: i) dedução analítica e discussão dos equilíbrios: Fe_2O_3/Fe_3O_4 ; Fe_3O_4/FeO e FeO/Fe .	5
5. Sistema Fe-H-O: i) dedução analítica e discussão dos equilíbrios: Fe_2O_3/Fe_3O_4 ; Fe_3O_4/FeO e FeO/Fe .	5
6. Sistema Fe-C-H-O: i) dedução analítica e discussão dos equilíbrios: Fe_2O_3/Fe_3O_4 ; Fe_3O_4/FeO e FeO/Fe .	5
7. O Processo de Redução via redutor sólido: i) mecanismos envolvidos; a estequiometria do sistema em função das velocidades da redução indireta e a reação de Boudouard; ii) os conceitos de redução direta, indireta e mista; iii) a redução indireta e a redução direta no Alto Forno; iv) tecnologia de auto-redução; v) aglomerados auto-redutores; vi) alguns processos de auto-redução; variáveis de processo que afetam a cinética do processo via redutor sólido;	5
8. Diagrama de Ellingham para óxidos: i) apresentação e discussão sobre o diagrama de Ellingham; ii) definição e aplicação prática do conceito de potencial de oxigênio no Alto Forno; iii) o potencial de oxigênio no “raceway” na escória; iv) a utilização do conceito do potencial de oxigênio para entendimento da incorporação do Si e Mn no gusa.	5
9. SEMINÁRIOS: os seminários estão associados aos temas ligados ao Alto Forno: i) sinterização; ii) pelletização; iii) coqueria e iv) o próprio reator.	5
ESTRATÉGIA DE APRENDIZAGEM	
Aulas Expositivas Interativas. Aplicação de lista de exercícios. Atendimento individualizado.	

RECURSOS METODOLÓGICOS
Quadro branco, pincel, projetor de multimídia.

AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM	
CRITÉRIOS	INSTRUMENTOS
Observação do desempenho individual.	Provas e seminários.

Bibliografia Básica
Livros
<ol style="list-style-type: none"> 1) ROSENQVIST, T. Extrative Metallurgy, second editon, 2004. 2) GASKEL D.R. Introduction to Metallurgical Thermodynamics. MacGraw-Hill. 3) ATKINS, P.W. Físico-Química. LTC, 2012. 4) SAMPAIO, R.S. Processos Alternativos Para a Fabricação de Ferro Primário, ABM, 1995.
Artigos de Periódicos:
<ol style="list-style-type: none"> 1) BRADSHAW, A.V.; MATYAS, A.G. Structural changes and kinetics in the gaseous reduction of hematite. Metallurgical Transactions B, vol.7B, pp.481-92, March 1976. 2) HAYES, P.C. ; GRIEVESON, P. The effects of nucleation and growth on the reduction of FeO to Fe. Metallurgical Transactions B, vol. 12B, pp. 319-26, June 1981. 3) HAYES, P.C.; GRIEVESON, P. Microstructural changes on the reduction of hematite to magnetite. Metallurgical Transactions B, vol. 2B, pp.579-587, September 1981. 4) UNAL, A; BRADSHAW, A.V. Rate processes and structural changes in gaseous reduction of hematite particles to magnetite. Metallurgical Transactions B, vol 14 B, pp.743-52, Dec.1983. 5) EDSTRÖM, J.O. The mechanism of reduction of iron oxides. Journal of The Iron and Steel Institute, pp.289-304, November, 1953. 6) MATTHEW, S.P.; HAYES, P.C. Microstructural changes occurring during the gaseous reduction of magnetite. Metallurgical Transactions, vol. 21B, pp. 153-172. 7) EL MOUJAHID, S; RIST, A. The nucleation of iron on dense wustite: A morphological study. Metallurgical Transactions B, vol 19B, pp.787-802, October 1988. 8) NICOLLE, R.; RIST, A. The mechanism of whisker growth in the reduction of wustite. Metallurgical Transactions B, Vol 10, pp.429-58, September 1979. 9) GADSBY, J.; LONGVF, S.; SLEIGHTHOLM, P.; SYKES, K.W. The mechanism of the carbon dioxide-carbon reaction. Proceedings of Royal Society A, London, vol.193, N° 1034, pp.357-76, 1948. 10) ERGUN, S. Kinetics of reaction of carbon dioxide with carbon Journal Phys. Chemical, vol 60, pp. 480-85, 1956. 11) TURKDOGAN, E.T; VINTERS, J.V. Gaseous reduction of iron oxides - Part III: Reduction-oxidation of porous and dense iron oxides and iron. Metallurgical Transaction, vol3, pp.1561-73, 1972. 12) WALKER, R.D. Modern Ironmaking Methods. The Institute of Metals, London, 1986.

Bibliografia Complementar

- 1) NASCIMENTO, R.C. Uma Análise Microestrutural de Pelotas Auto-redutoras. Tese de Doutorado, EPUSP, 1994.**
- 2) NASCIMENTO, R.C.; CAPCCHI, J.D.T; MOURÃO, M,B. Microstructures of Self-Reducing Pellets Bearing Iron Ore and Carbon. ISIJ International, Vol 37, no 11, pp.1050-1056, 1997.**
- 3) CHOSH, A. Ironmaking and Steelmaking Theory and Practice. PHI Learning Private Limited, New Delhi, 2010.**