



Seu desafio é nosso

Desenvolvimento de **novos materiais** metálicos no IPT”

Desenvolvimento de **novos materiais** metálicos no IPT

Articulação de duas abordagens:

1ª com foco no material: estrutura e propriedades.

2ª com foco na fabricação do componente com o novo material desenvolvido.

Desenvolvimento de **novos materiais** de elevado desempenho



Alloy design

- Simulação termodinâmica
- “Projeto” microestrutural



Produção de corpos de prova

Capacitação laboratorial desde corpos de prova até piloto



Medida de propriedades

- Capacitação interlaboratorial IPT
- +
- Parcerias



Especificações

Seleção de materiais
Dureza, Fadiga, etc.



Processo de produção

Fundição
Forjamento
Trat. térmico
Estampagem
Manufatura Aditiva



Produção de peça piloto

Capacitação laboratorial em escala piloto



Medida de propriedades e avaliação de desempenho

Novo material

- fadiga
- **desgaste**
- resistência mecânica
- condutividade térmica
- corrosão
- dureza

Componente

- Desempenho
√ fadiga
√ desgaste
- **↓ peso**
- custo

Caso
Revestimentos do moinho
Vertimill da Metso

DESAFIO

Aumentar em 30% a vida útil dos revestimentos de moinho produzidos com ferro fundido de alto cromo.

Revestimento do Vertimill



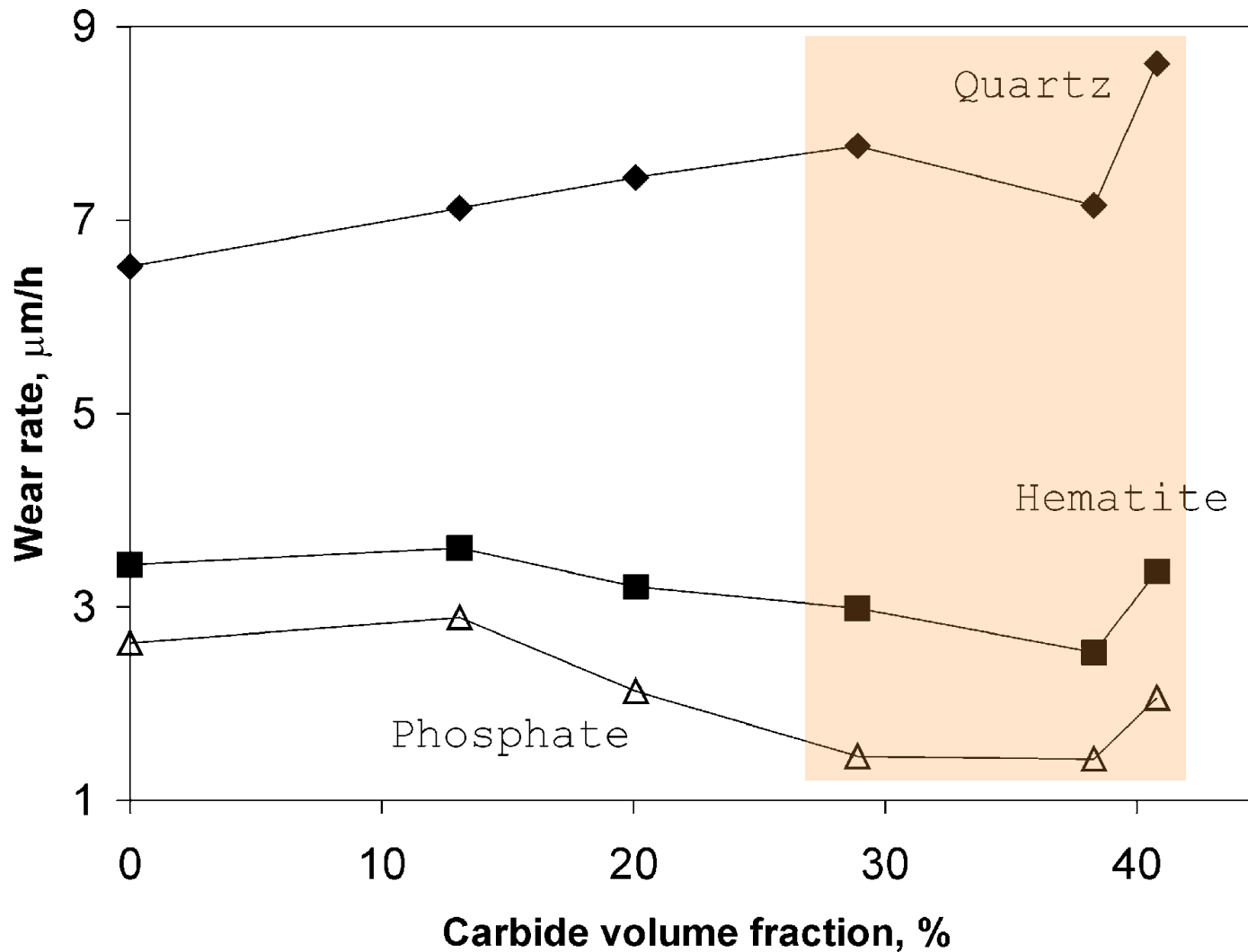
Recursos IPT

- Alloy Design:
 - ❑ Fundamentos (boas perguntas)
 - ❑ ThermoCalc (boas respostas)
- Fundição Piloto
 - ❑ MAGMA (simulação de fundição)
 - ❑ moldagem
 - ❑ Fornos de indução (1 a 100 kg)
 - ❑ Tratamento térmico
- Análise térmica
 - Softwares e hardwares para aquisição e tratamento de dados
- Metalografia
 - Microestruturas, dureza, microdureza
 - MEV
- Ensaio de Desgaste (LFS)

ESTRATÉGIA

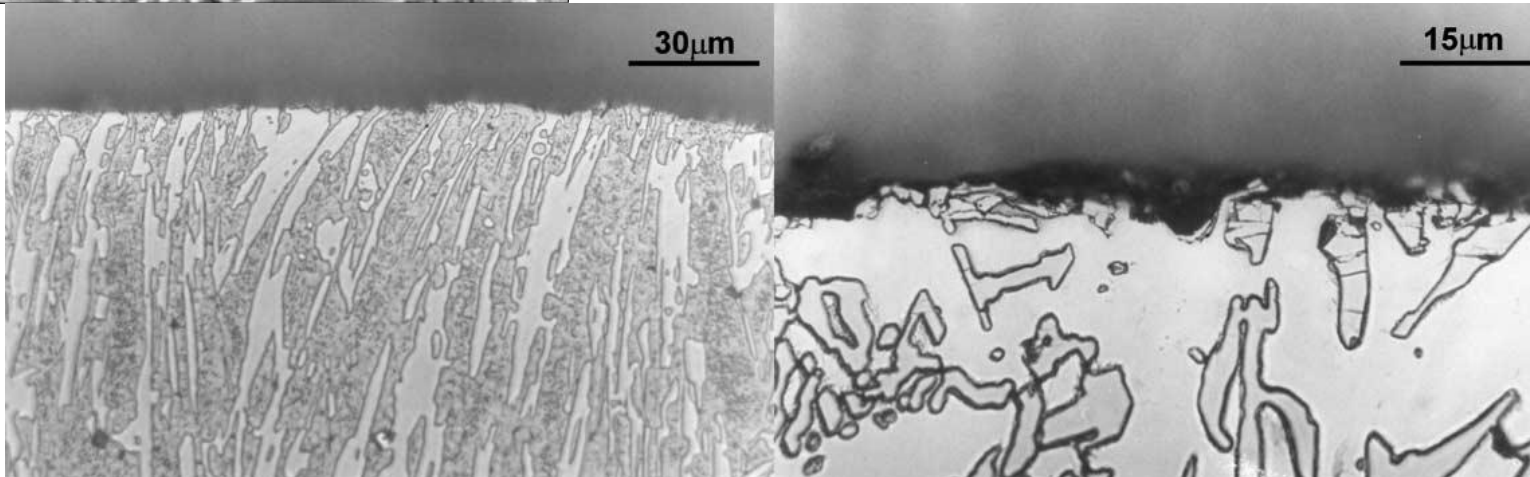
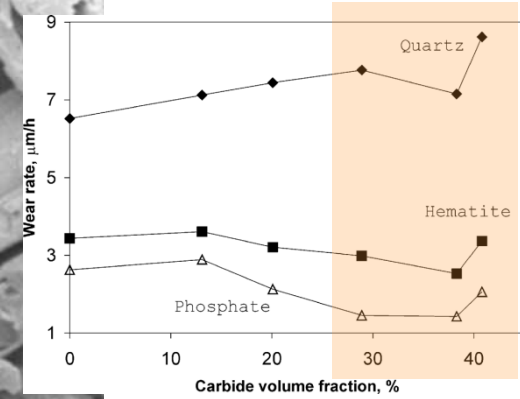
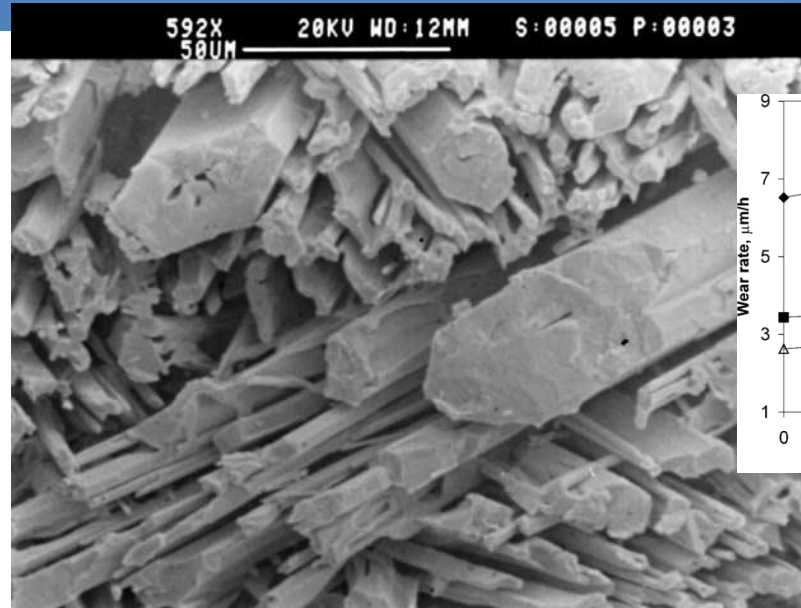
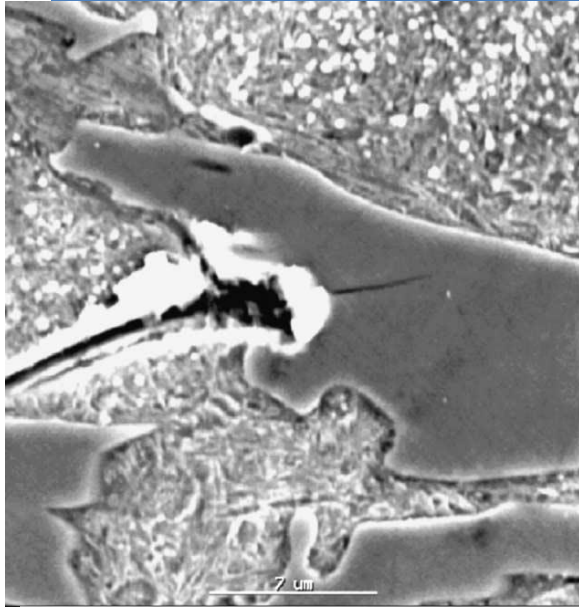
- Referência: liga tradicional da Metso
 - Fofa alto cromo 18Cr-2,6C (+Mo , Cu e Mn para temperabilidade)
- Ajustar a composição química para obtenção de **microestrutura eutética**.
- Ajustar tratamento térmico para máxima dureza e mínima austenita retida.
- Hipóteses:
 - melhor proteção contra desgaste promovido pelo quartzo contido no minério.
 - Para esse tipo de moinho eventual redução da resistência ao impacto não é crítica.

ESTRATÉGIA



Ref.:Tese, Albertin

ESTRATÉGIA (um pouco de tribologia...)



f.:Tese, Albertin

EXECUÇÃO

- Alloy design
 - ThermoCalc
 - Seleção de CQ e temperaturas de Tt
- Moldagem e Fundição de blocos / cortes
 - Moldes
 - Cachos fundidos
 - fatias
- Tratamentos térmicos
 - Ciclos de tratamento e velocidades de resfriamento

Alloy Design

- Alloy design
 - liga de referencia

Especificação		%C	%Mn	%Si	%Cr	%Mo	%Cu
Faixa para corpos de prova de referência	min	2,55	0,90	0,50	18	0,80	0,90
	máx	2,65	1,10	0,70	19	1,00	1,10

- Alloy design
 - liga eutética

Especificação	%C	%Mn	%Si	%Cr	%Mo	%Cu
Liga eutética	2,9	1,0	0,6	20	1,0	1,0

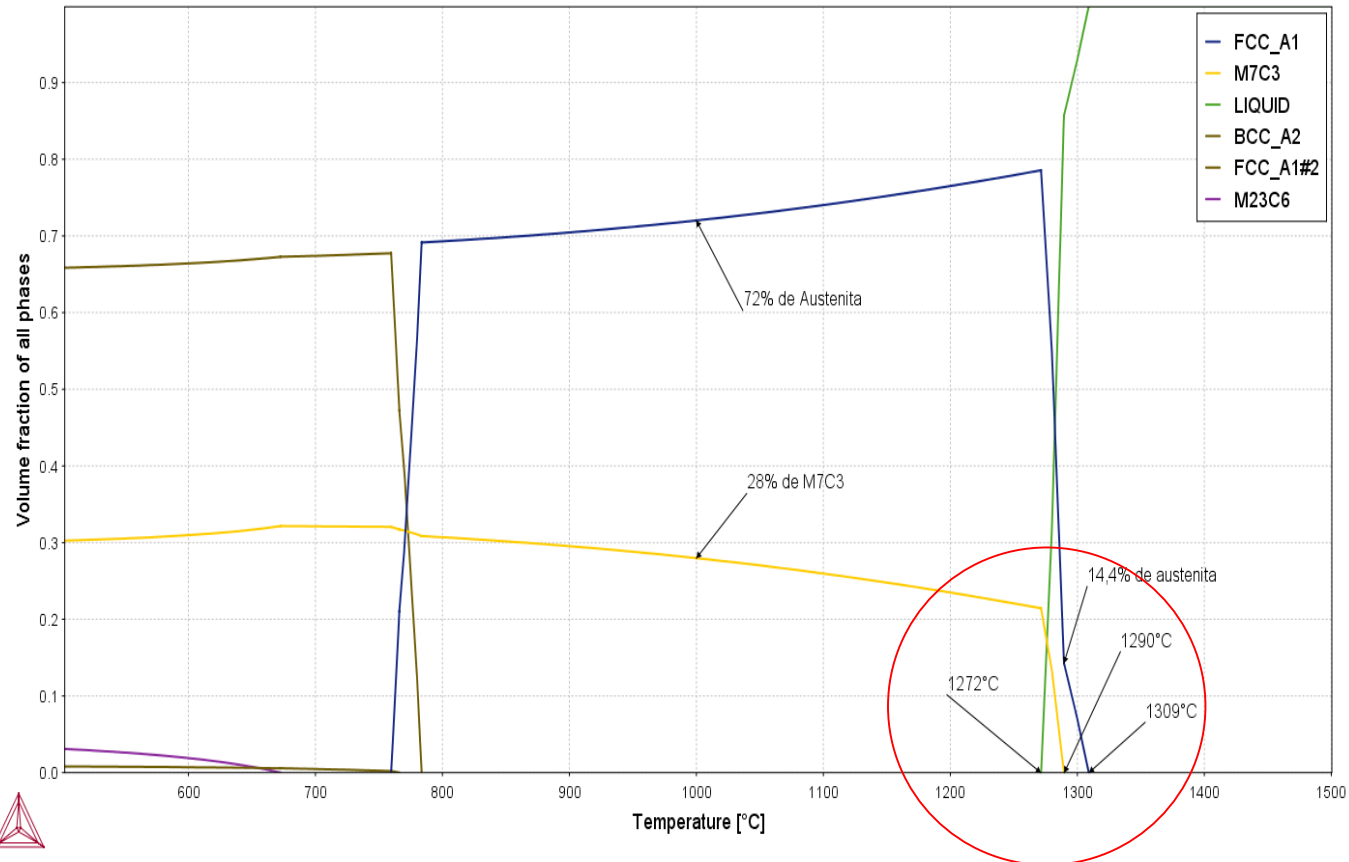
Alloy Design

- Solidificação da liga de referencia

2018.08.07.15.57.46

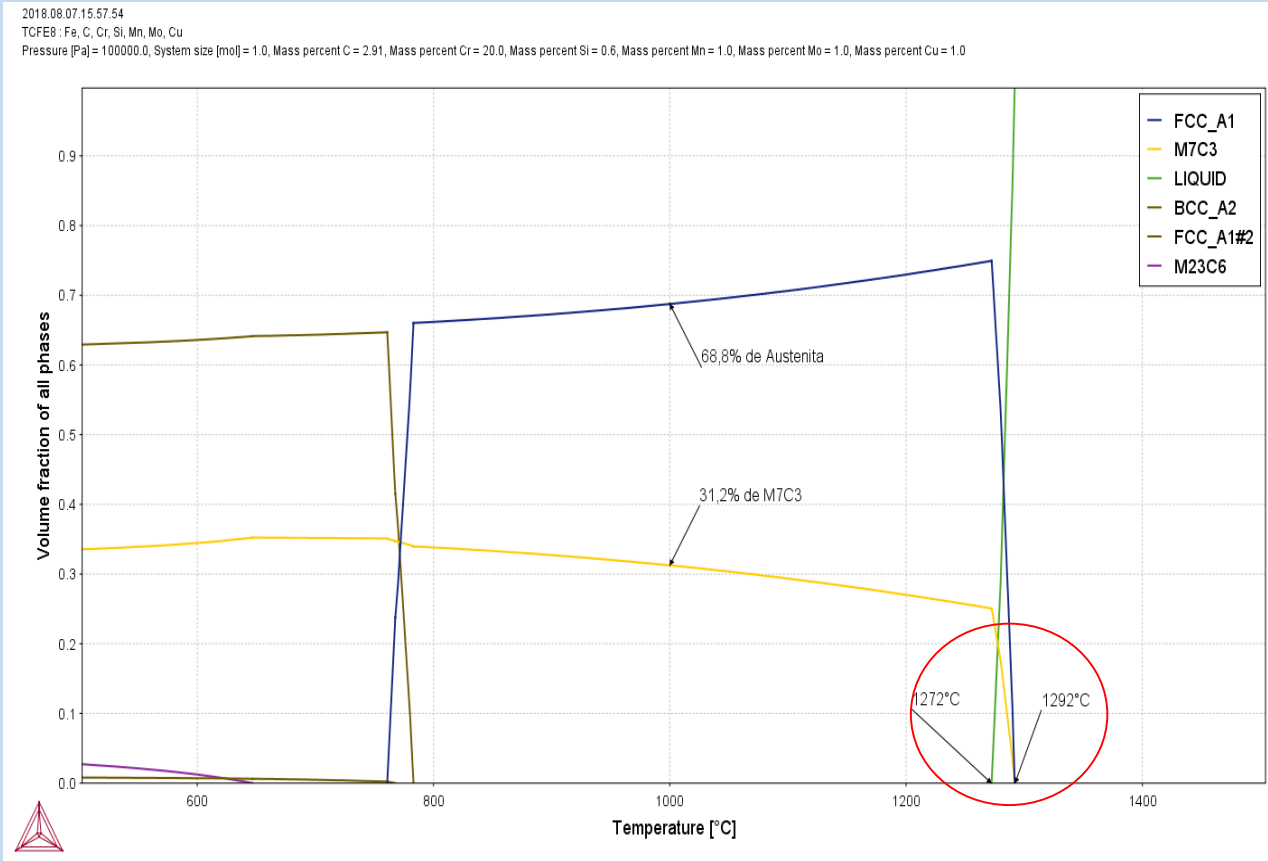
TCFE8 : Fe, C, Cr, Si, Mn, Mo, Cu

Pressure [Pa] = 100000.0, System size [mol] = 1.0, Mass percent C = 2.65, Mass percent Cr = 18.5, Mass percent Si = 0.6, Mass percent Mn = 1.0, Mass percent Mo = 1.0, Mass percent Cu = 1.0



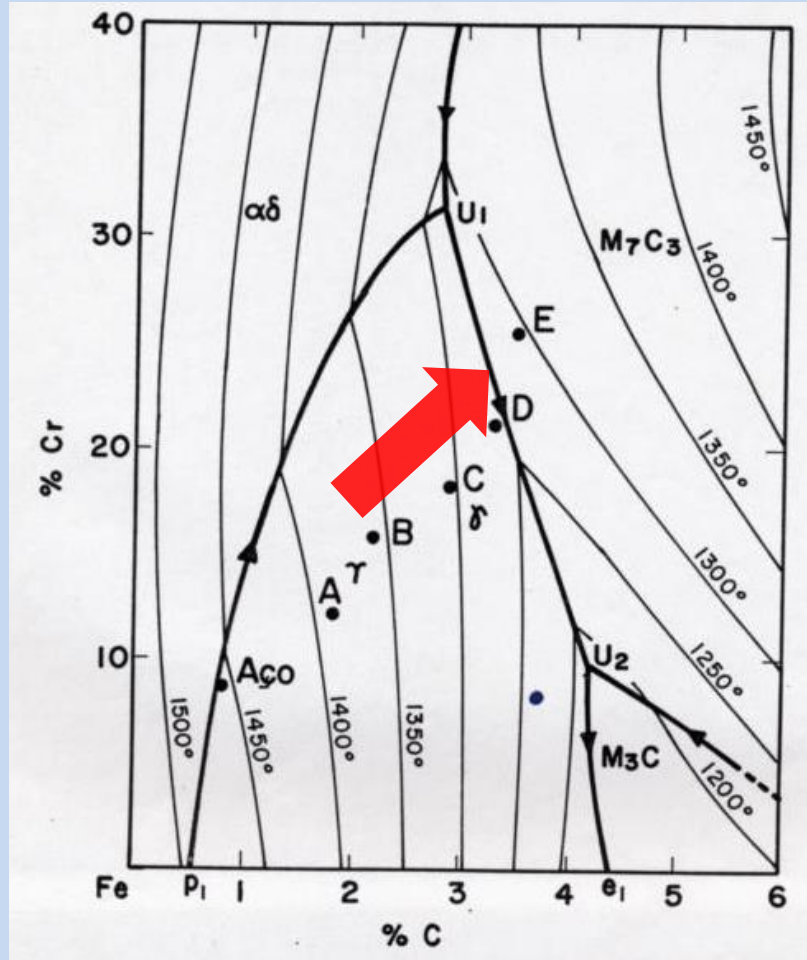
Alloy Design

- Solidificação da liga eutética



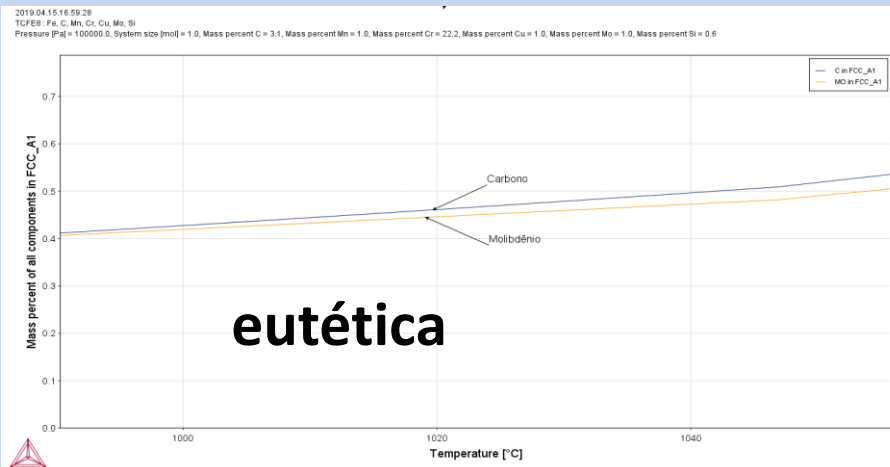
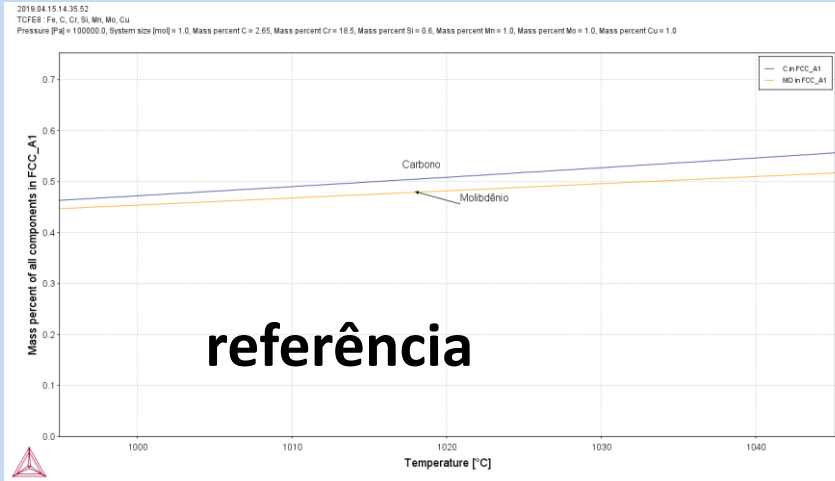
EXECUÇÃO

- Alloy design

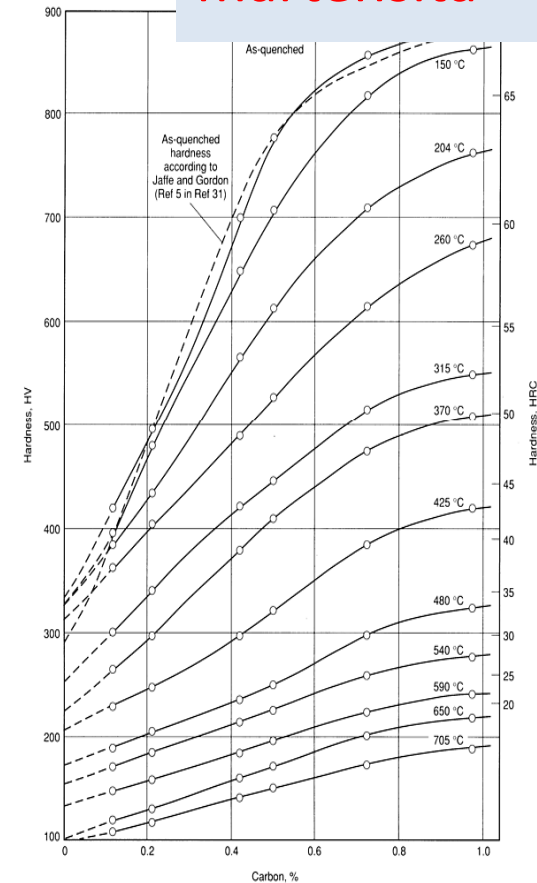


Alloy Design

- Teor de C na austenita



Dureza da
martensita

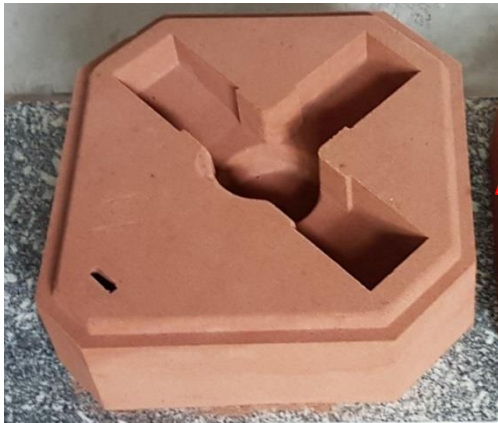
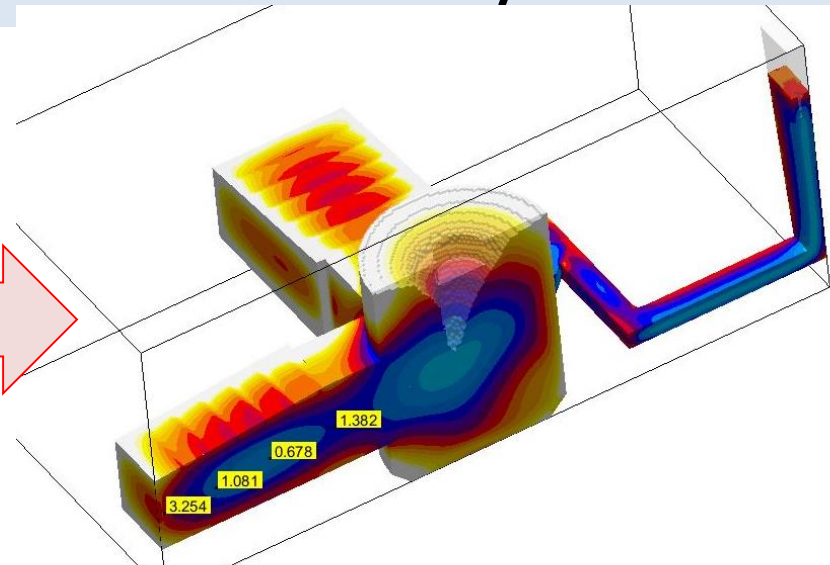
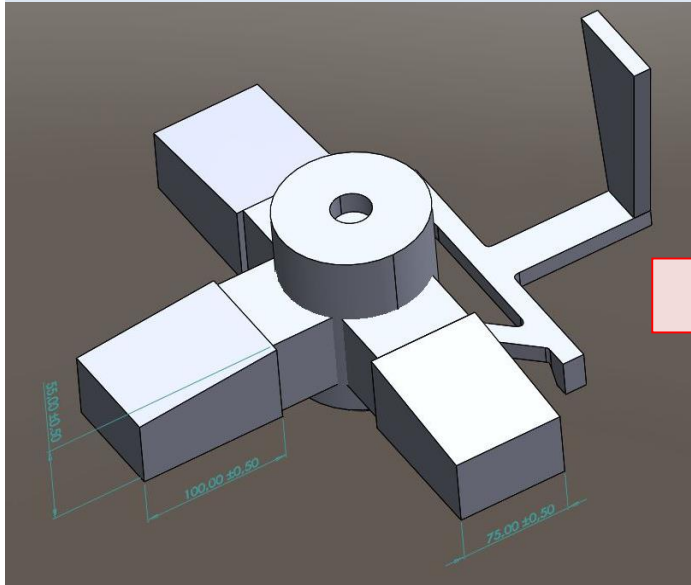


% C na austenita

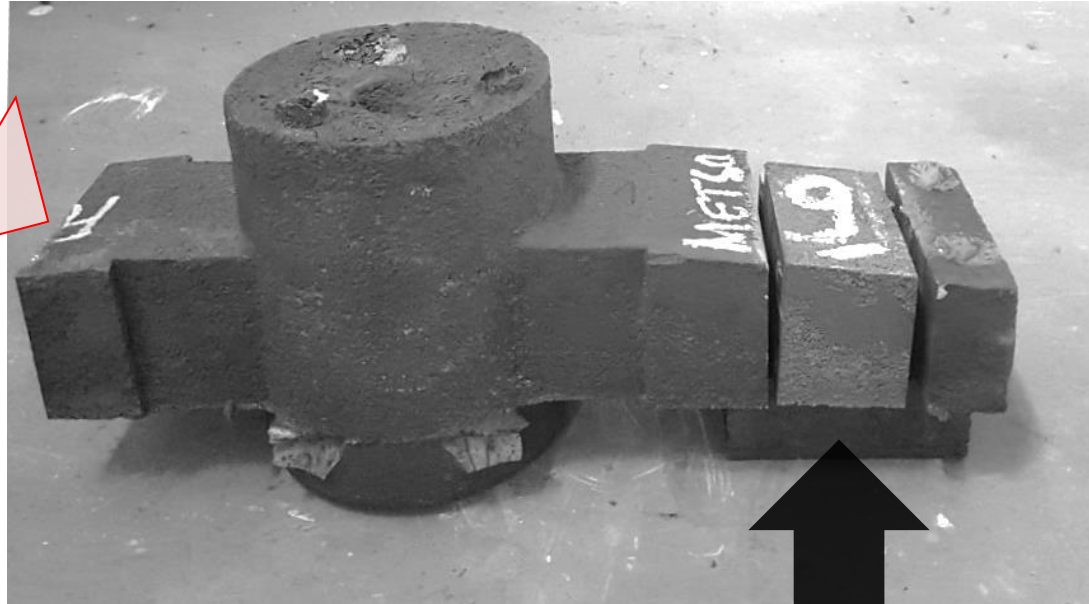
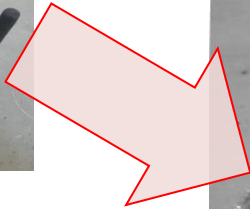
Alloy Design

- Com base na avaliação com ThermoCalc foi selecionada preliminarmente uma liga com 2,9%C e 20%Cr e tratamentos térmicos de têmpera partindo de 1000°C ou 1040°C.
- A partir de experimentos preliminares, essa composição foi ajustada, resultando em aumento do teor de C para 3,1% e do Cr para 22%.

Moldagem e Fundição de blocos / cortes



Moldagem e Fundição de blocos / cortes

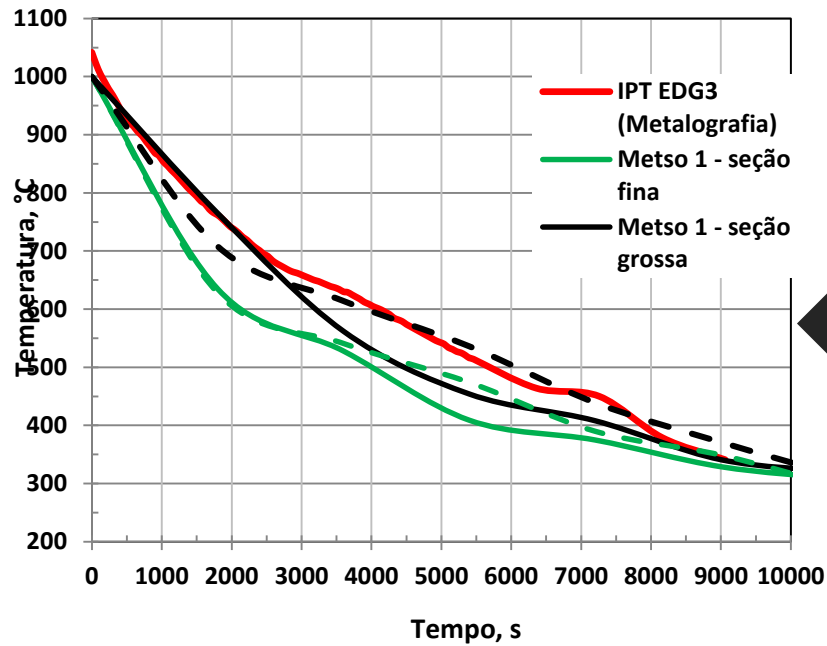


cp para tratamento termico

Tratamentos térmicos

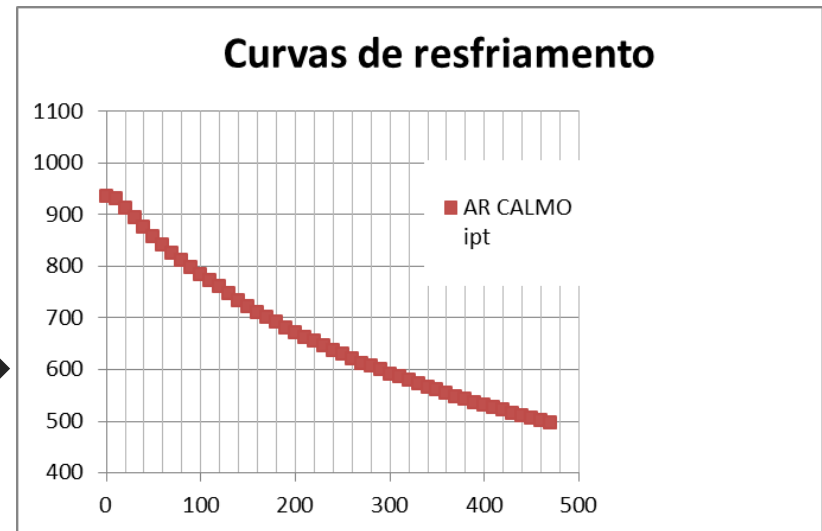
Liga	Temp	Composição química da austenita						Ms
		%C	%Cr	%Si	%Mn	%Cu	%Mo	
Referência	1000	0,47	6,0	0,8	1,0	1,4	0,45	200
	1040	0,54	6,6	0,8	1,0	1,4	0,50	162
Eutética	1000	0,43	6,5	0,9	1,1	1,5	0,42	206
	1040	0,49	7,1	0,9	1,1	1,5	0,47	178

Tratamentos térmicos

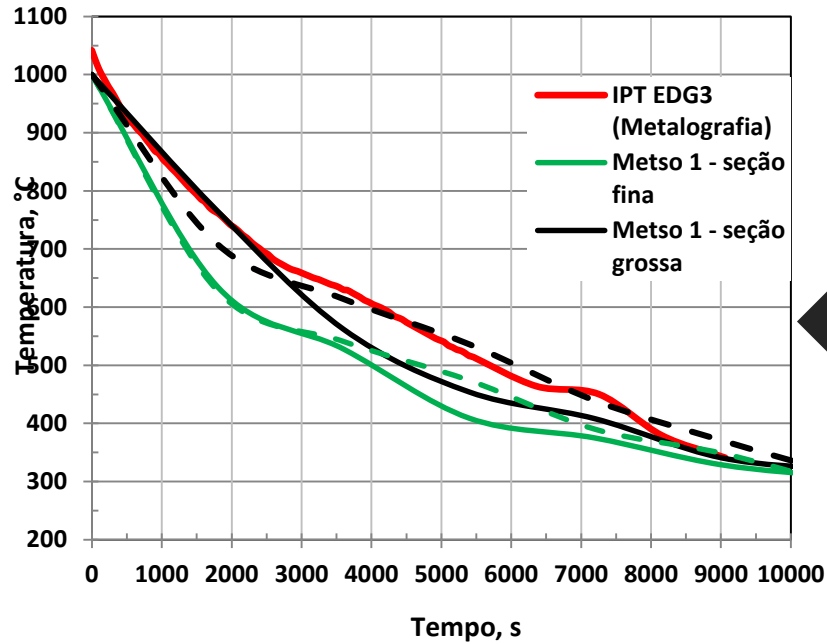


Resfriamento do cp na
têmpera (linha vermelha)
simulando VR da peça na
empresa.

Resfriamento “rápido”

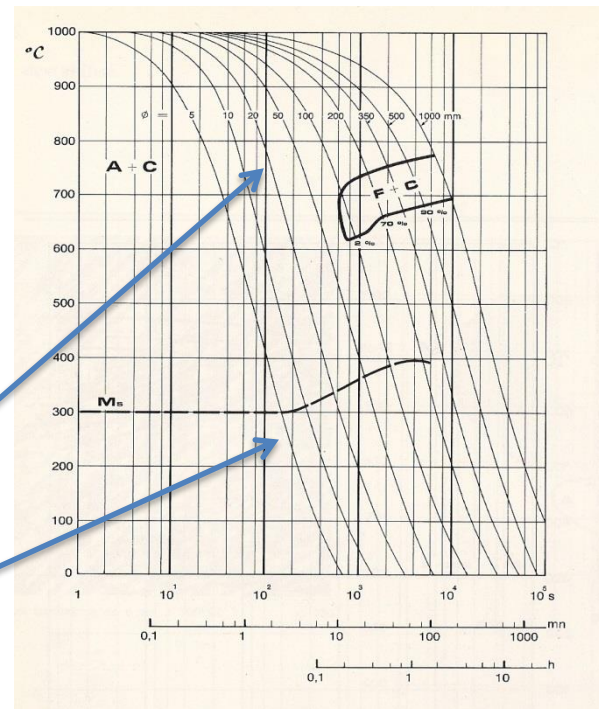


Tratamentos térmicos



Resfriamento do cp na
têmpera (linha vermelha)
simulando VR da peça na

Precipitação de ks
Notar Ms subindo



Maratray
Atlas

RESULTADOS

CQ

MICROESTRUTURAS

DUREZAS

DESGASTE

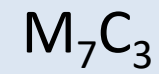
Composição química

	C	Si	Cr	Mn	Mo	Cu
Análise química referencial	2,62	0,53	19,6	1,1	0,97	1,1
Análise química eutética	3,10	0,58	21,9	0,98	0,94	1,09

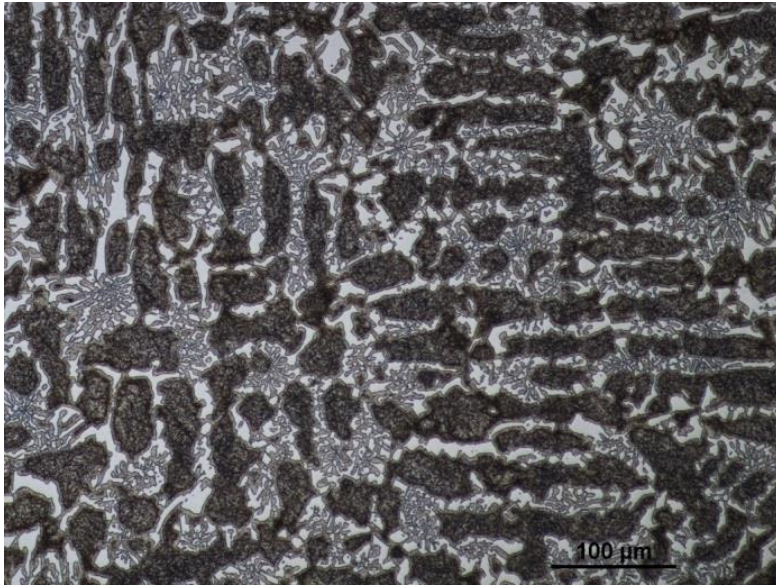
MICROESTRUTURAS

MARTENSITA REVENIDA

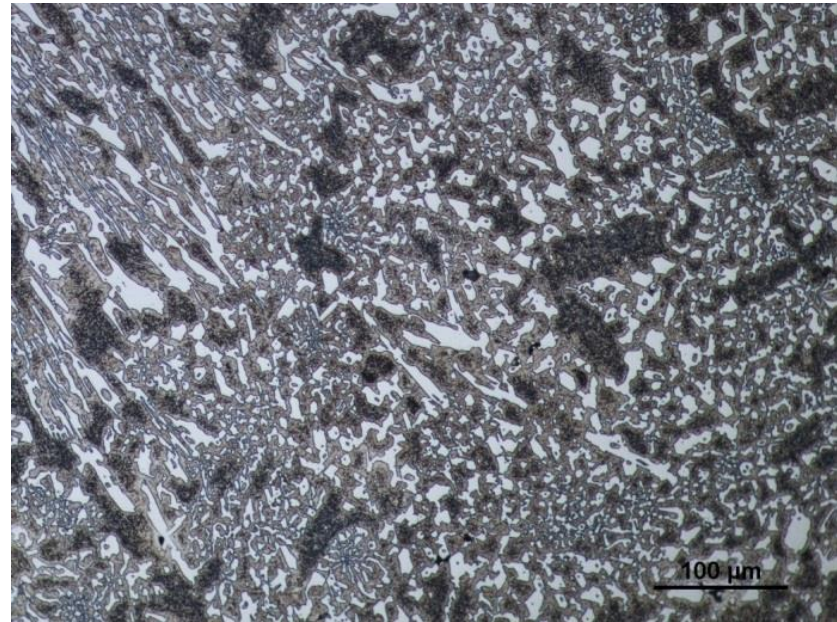
+



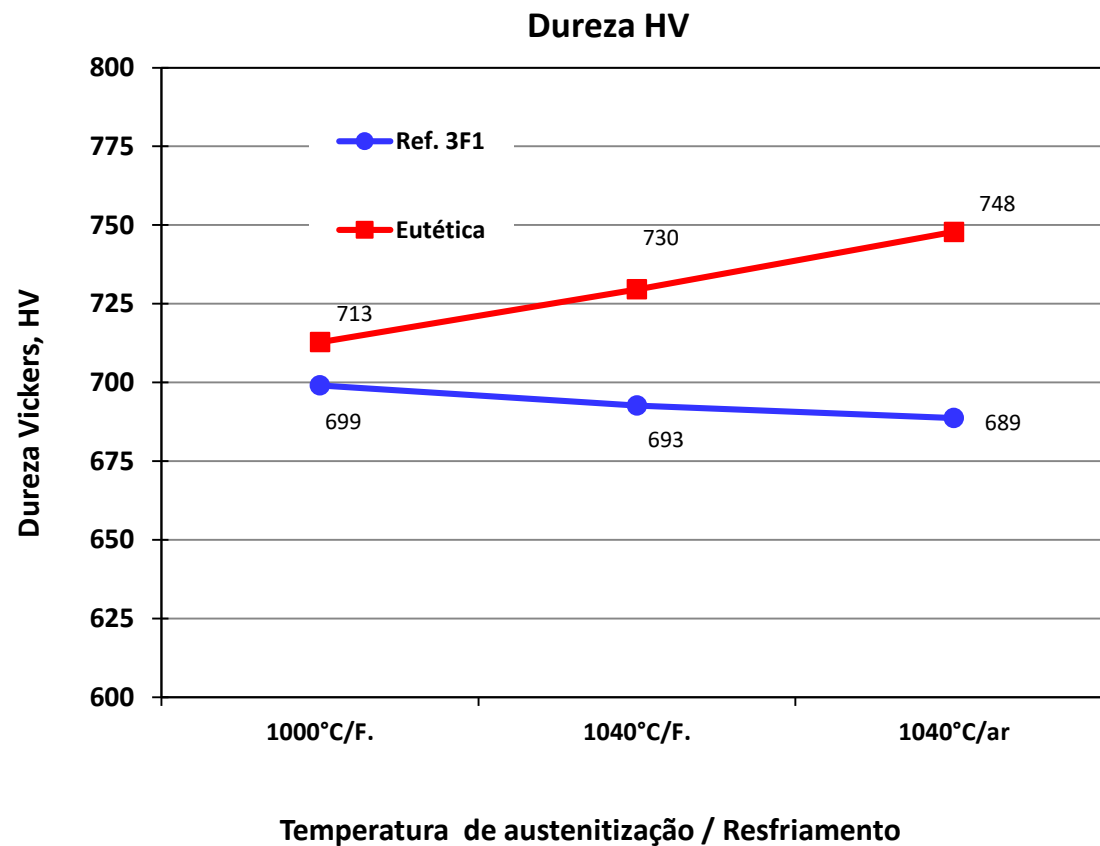
“Eutética”



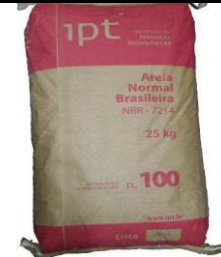
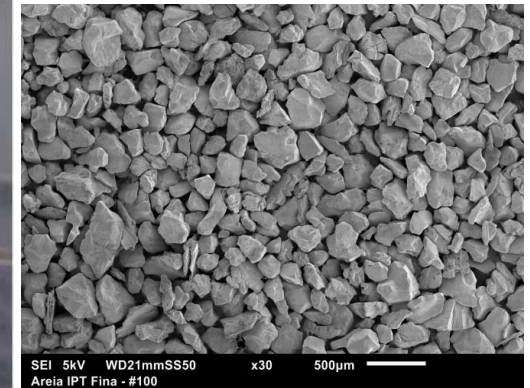
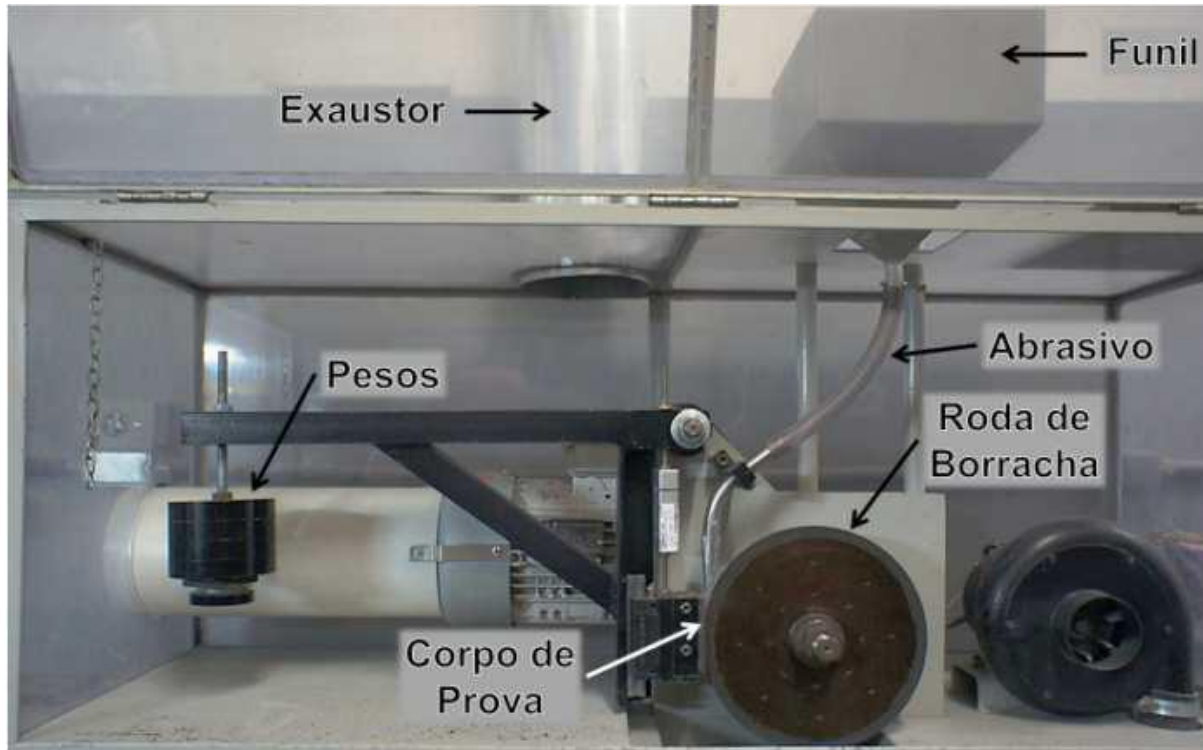
Referência



DUREZAS



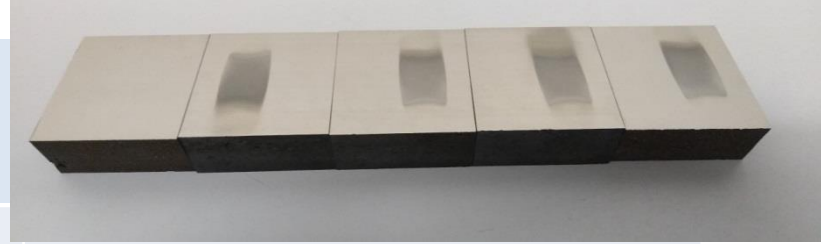
DESGASTE



Ensaio Roda de borracha no LFS USP

Areia normal brasileira quartzo 100 a 300 micrometros

DESGASTE



	referência			eutética, 1040			
Carga, N	mg	mg/N	RDR		mg	mg/N	RDR
130	90,0	0,69	100		65,9	0,51	136
80	54,6	0,68	100		45,9	0,57	119
50	33,7	0,67	100		24,7	0,49	136

- As perdas de massa foram proporcionais às cargas nos ensaios, de modo que os resultados puderam ser expressos em mg/N.
- A liga melhorada apresentou RDR entre 20 e 40% mais elevada do a liga de referência.

CONCLUSÕES

Peças foram produzidas e encontram-se em avaliação em campo.