

# INFLUÊNCIA DA ETAPA DE DESCARBONETAÇÃO NAS PROPRIEDADES MAGNÉTICAS, MICROESTRUTURAIS E QUÍMICA DE AÇOS SEMI-PROCESSADOS<sup>1</sup>

*Eduardo Cavalcante da Silva<sup>2</sup>  
Nicolau Apoena Castro<sup>3</sup>  
Fernando José Gomes Landgraf<sup>4</sup>  
Tomoe Oide Tsubaki<sup>3</sup>  
Fernando Pereira da Silva<sup>5</sup>*

## **Resumo**

Este trabalho visa a análise da etapa de decarbonetação presente na fabricação de aços baixo carbono para fins elétricos. Foram utilizadas diversas atmosferas decarbonetantes, de modo a analisar sua ação sobre as propriedades microestruturais, magnéticas e químicas dos aços. Em todo o trabalho foi utilizado um aço elétrico semi processado do tipo COSCORE550, de teor de 0.06%C.

**Palavras-chave:** Decarbonetação; Aço elétrico; Tratamento térmico.

## **INFLUENCE OF DECARBURIZING STAGE ON MAGNETIC, MICROSTRUCTURAL AND CHEMICAL SEMIPROCESSED STEELS**

## **Abstract**

This work aims to investigate the decarburizing stage which it is used in some electrical motor manufacturers. Several atmospheres were used to analyze their action on microstructure, magnetic and chemical properties. It was on entire work a semiprocessed electrical steel of carbon content 0,06%.

**Key words:** Decarburizing; Electrical steel; Heat treatment.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

<sup>2</sup> *Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo(IPT). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo(Poli-USP)*

<sup>3</sup> *USIMINAS-Ipatinga-MG*

<sup>4</sup> *Escola Politécnica da Universidade de São Paulo(Poli-USP)*

<sup>5</sup> *Fitas Metálicas*

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1.Descarbonetação

A descarbonetação é uma etapa muito importante da fabricação dos aços elétricos a qual consiste na retirada de carbono pela reação deste com a umidade, presente na atmosfera do forno, sua importância está no fato de que o carbono restringe a ocorrência da recristalização de aços baixo carbono deformados se ele não for retirado do material. No caso de aços sem encruamento ou com energia potencial insuficiente em relação a temperatura utilizada o material não se recristalizará. O carbono, em um aço laminado, funciona tanto como uma barreira para a migração de contornos de grão dificultando o crescimento de grãos, ou seja, a recristalização.<sup>[1,2]</sup>

Segundo Soenen<sup>[3]</sup> e Rosypal,<sup>[4]</sup> a velocidade de reação de descarbonetação é relativamente rápida. A descarbonetação depende da difusão dos gases na atmosfera, da reação  $C + H_2O = CO + H_2$  na superfície do material e da difusão do carbono no interior do material. A etapa controladora é a da reação química, segundo Marra.<sup>[5,5]</sup> Esses pesquisadores mostram que mesmo em tempos curto o teor de carbono é diminuído a níveis bastante pequenos.

Em relação ao aumento do ponto de orvalho, que está associado à razão  $PH_2O/PH_2$ , a descarbonetação tende a ocorrer mais rapidamente a pontos de orvalho maiores.<sup>[1,4]</sup>

## 1.2 Recristalização

Durante o tratamento térmico dos aços elétricos, podem ocorrer fenômenos de recuperação e recristalização. É necessário que o material esteja encruado, o que é conseguido por laminação. A recuperação permite restauração parcial de algumas das propriedades e características do material antes do encruamento, as propriedades estas que podem ser mecânicas, tensões residuais, magnéticas.<sup>[7]</sup> Porém, um tratamento térmico não pára neste estágio, ocorrem diversas mudanças microestruturais além da recuperação, um processo denominado recristalização. O fenômeno recristalização consiste em migração de contornos de grãos de alto ângulo. Dependendo do número de núcleos de recristalização, maiores ou menores serão os grãos recristalizados, sendo isto a base teórica para o processo de recristalização após a “laminação de encruamento” em aços para fins elétricos.<sup>[8,9]</sup>

## 1.3.Perdas no Ferro ou Perdas Magnéticas

As perdas no ferro são função do nível de indução magnética, do tipo de material e da forma da frequência da corrente, sendo frequentemente medidas em 1,0 e 1,5T, sendo medidos com variação senoidal de 60Hz. Essa histerese obtém-se através de um “Quadro de Epstein”, com lâminas na direções de laminação e transversais, ou através de um “Soken”, um “SST-Single Sheet Tester”, aparelho de menor custo e espaço.<sup>[9]</sup>

As perdas magnéticas são separadas em três componentes:

- perdas histeréticas(Ph)
- perdas parasitas(Pp)
- perdas anômalas ou de excesso(Pa).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foi utilizado aço elétrico semi-processado GNO(grão não orientado) cedido pela Fitas Metálica, fabricado pela Cosipa de tipo COSCORE 550. Este aço na sua última etapa de fabricação, foi laminado a frio(skin pass) de 4 a 6% de deformação e foi recebido do fabricante com as seguintes informações sobre o material:

Densidade=7,85g/cm<sup>3</sup>; Dureza=122HV10; Limite de Escoamento:234MPa

Composição química é a seguinte: C = 0,04 a 0,06%; Mn =0,33 a 0,36%; P =0,011 a 0,0016%; S =0,006 a 0,009%; Si = 0,26 a 0,35 %; Al =0,001 a 0,006%

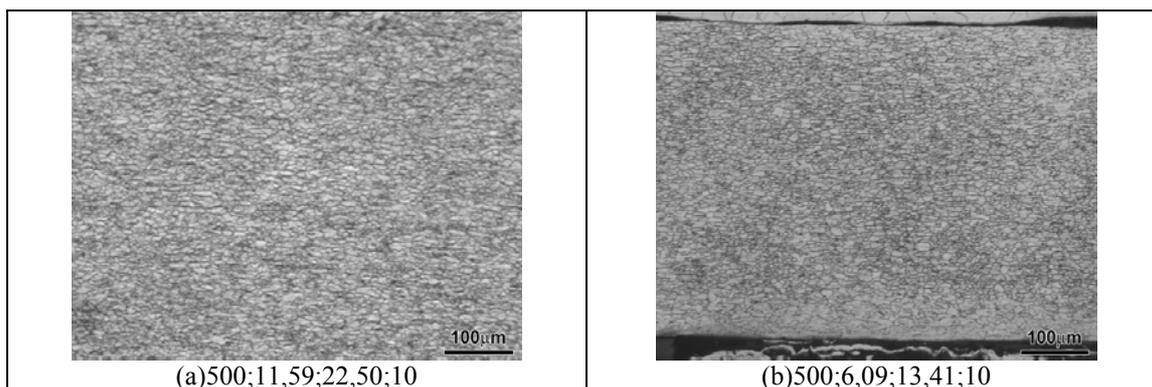
Foram utilizadas em todo o trabalho lâminas longitudinais de 30x150mm. Algumas lâminas foram separadas, furadas e emparafusadas em pacotes de três lâminas e fixas de modo que os espaços entre as lâminas fossem suficientemente pequenos, no entanto nos ensaios havia além deste pacote de três lâminas, uma lâmina solitária, denominada “solitária”, as lâminas do pacote foram denominadas de “superior”, a lâmina de um dos lados do pacote, “intermediária”, a lâmina do meio e “inferior”, a lâmina do lado contrário do pacote, essas nomenclaturas servem para determinar a posição da lâmina em cada tratamento térmico. O empacotamento de lâminas nos tratamentos térmicos foi feito no sentido de reproduzir o processo de fabricação em escala industrial.

Para verificação microestrutural, foi realizada microscopia ótica, para análise magnética foi feita medidas no “Soken”, ou seja, em um “Single Sheet Tester”, este ensaio não é padronizado conforme as normas nacionais e internacionais embora seja de grande utilização na medição magnética de chapas para fins elétricos. As análises de teor de carbono foram realizadas no Laboratório de Metalurgia e Cerâmica do IPT, localizado no prédio 2, foi utilizado o método de “combustão direta”. O tamanho de grão dos materiais foi determinado pelo método das intersecções (EXNER, 1993), foram utilizadas no mínimo 300 intersecções para cada lâmina. Nos tratamentos térmicos variou-se o tempo no qual a amostra ficou exposta à umidade e o ponto de orvalho, 5,15 e 25°C, em termos de razão de p<sub>H<sub>2</sub>O</sub>/H<sub>2</sub> os valores são 0,086; 0,17 e 0,31.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão mostradas as micrografias do material como foi recebido e do material tratado termicamente a 760°C a vácuo durante 10 horas (Tabela 1).

Abaixo das micrografias estão: os valores de teor de carbono[ppm], perdas magnéticas a 1T/60Hz[W/Kg], perdas magnéticas a 1,5T/60Hz[W/Kg], tamanho de grão[ $\mu$ m], respectivamente do material. Sendo todos os valores para perdas obtidos utilizando o “Soken”, referente a Figura 1.



**Figura 1.**(a)Material como foi recebido, material cru(b)material tratado termicamente a vácuo durante 10 horas a 760°C

Para verificar a importância da descarbonetação na recristalização, foi realizado um tratamento térmico a vácuo, com o mesmo material, COSCORE550, que foi utilizado nos ensaios a seguir.

Nota-se que a microestrutura é a mesma que a inicial, ou seja, grãos pequenos em toda a sua espessura, mas as perdas magnéticas diminuíram pela metade, certamente por causa da recuperação do material, porém não houve crescimento de grão devido a não-ocorrência de recristalização do material, outros trabalhos sobre o tema como de Nicolau Apoen Castro, demonstram que se utilizando mais tempo a microestrutura tende a ser a mesma se não for realizado a descarbonetação do material, já que o carbono funciona como obstáculo para a recristalização do material.

Através do método de “Quadro de Epstein” e “Soken” obteve-se os seguintes valores de perdas magnéticas:

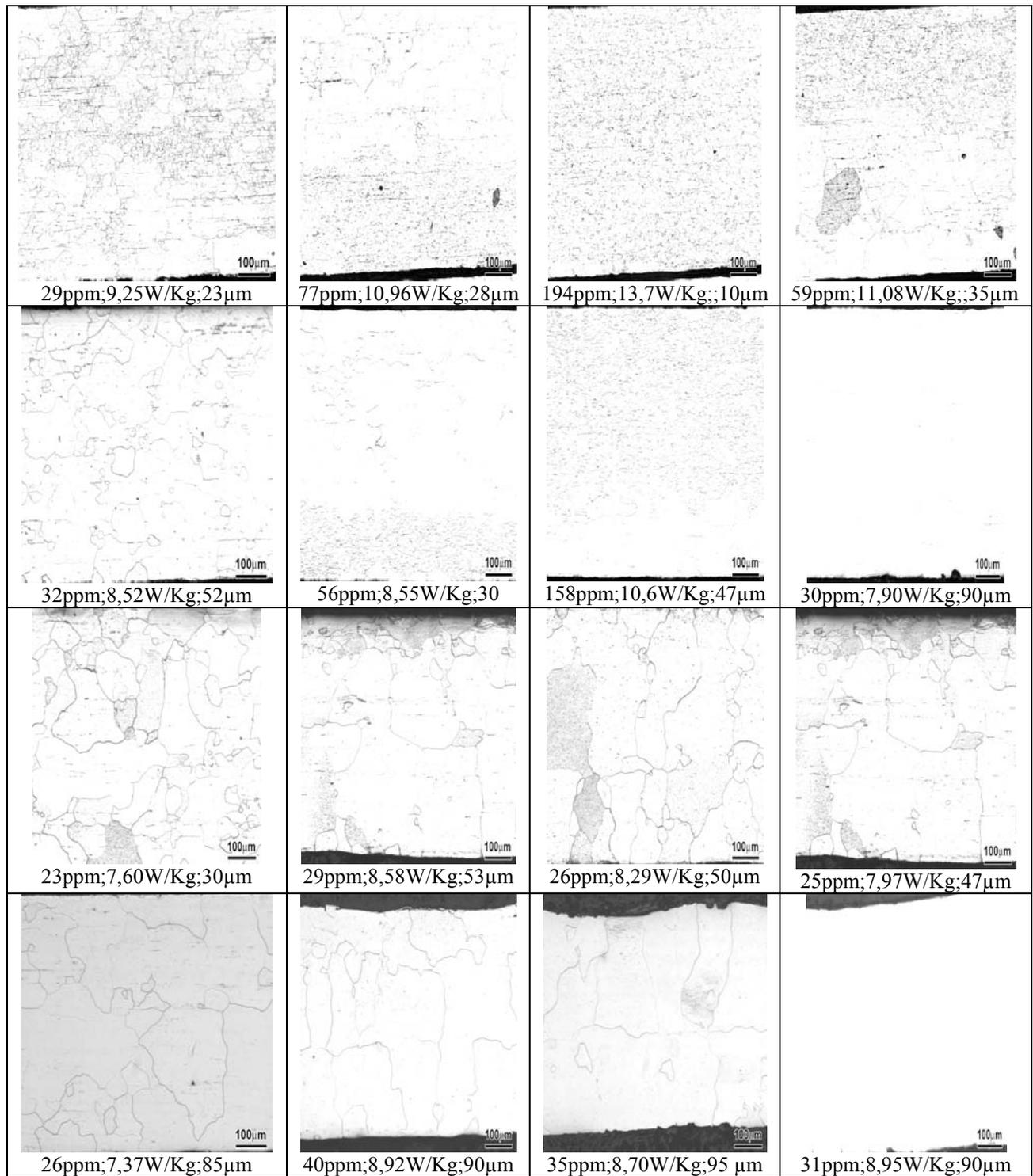
**Tabela 1.** Valores magnéticos obtidos pelo “Quadro de Epstein”

	Soken		Quadro de Epstein	
	1T/60Hz	1,5T/60Hz	1T/60Hz	1,5T/60Hz
Material recebido	11,59±0,35	22,5±0,52	10,83±0,26	21,43±0,35
Material tratado	3,15±1,21	6,84±1,01	4,02±1,55	8,94±0,95

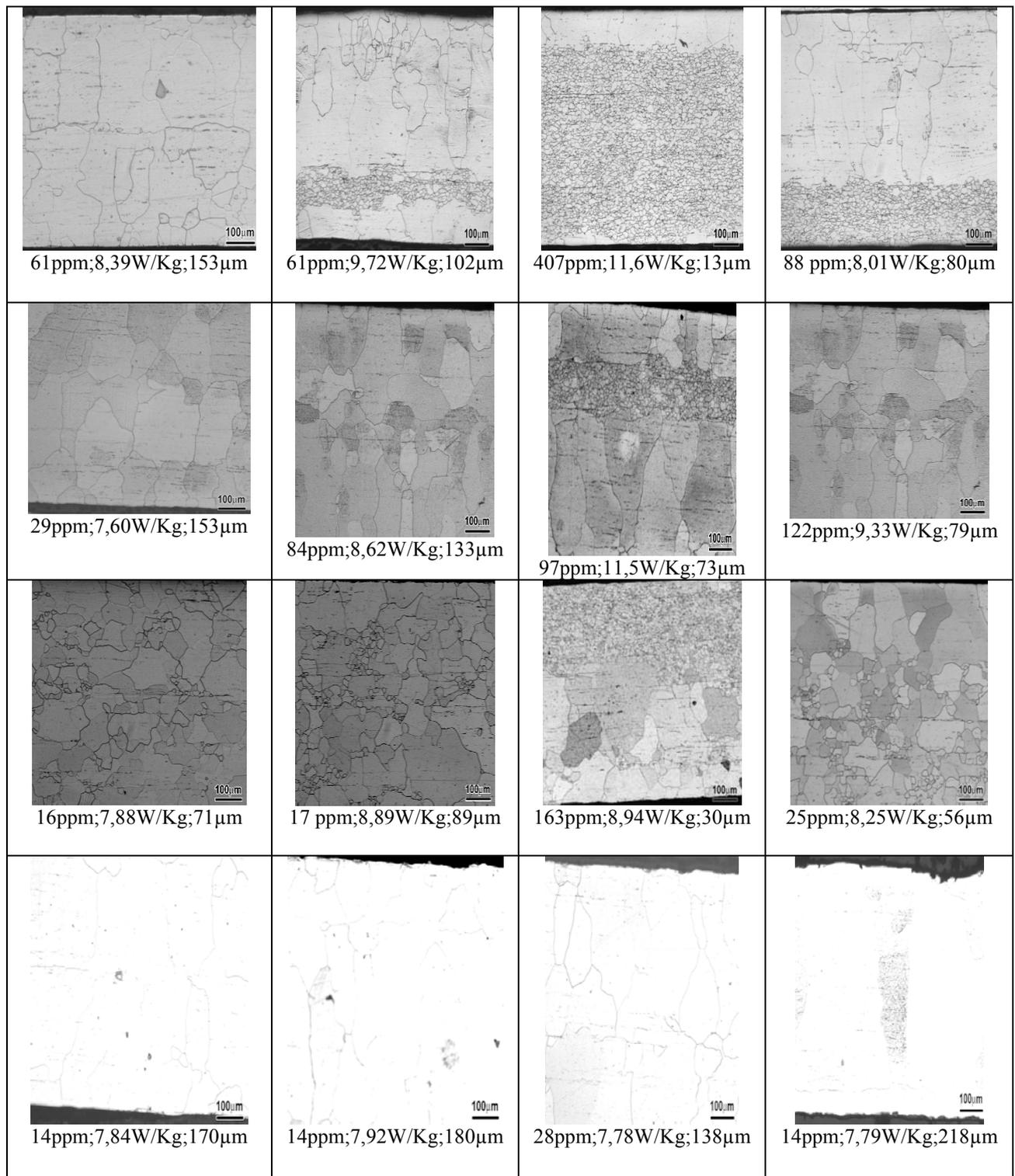
Verifica-se que na Tabela 2 há pequena diferença entre os valores de perdas magnéticas entre os instrumentos, “Soken e Quadro de Epstein”, chegando a um desvio máximo de  $\pm 0,381$  em relação ao material como recebido. No entanto, em relação aos valores obtidos quando o material foi tratado, verifica-se um desvio maior, já que magneticamente as lâminas não são uniformes ao longo de todo o seu comprimento, apresentando valores em diferentes pontos diversos em uma mesma lâmina.

A seguir serão mostradas as micrografias dos ensaios realizados com a finalidade de analisar a variação microestrutural, magnética devido ao efeito do empacotamento de lâminas, e abaixo das micrografias, estão os dados de teor de carbono [ppm], perdas magnéticas a 1,5T/60 Hz[W/Kg], tamanho de grão [ $\mu\text{m}$ ], respectivamente, dos materiais tratados termicamente, sendo todos esses valores obtidos utilizando o “Soken”. O tipos de lâminas estão dispostas nas figuras (da Figura 2 em diante), da esquerda para a direita, a primeira coluna é a lâmina “solitária”, a segunda a “superior”, a terceira a “intermediária” e a quarta coluna é a lâmina a “inferior” em relação a horizontal. Em relação ao tempo, as lâminas estão dispostas na vertical, ou seja, a primeira(a de cima) é o ensaio realizado durante

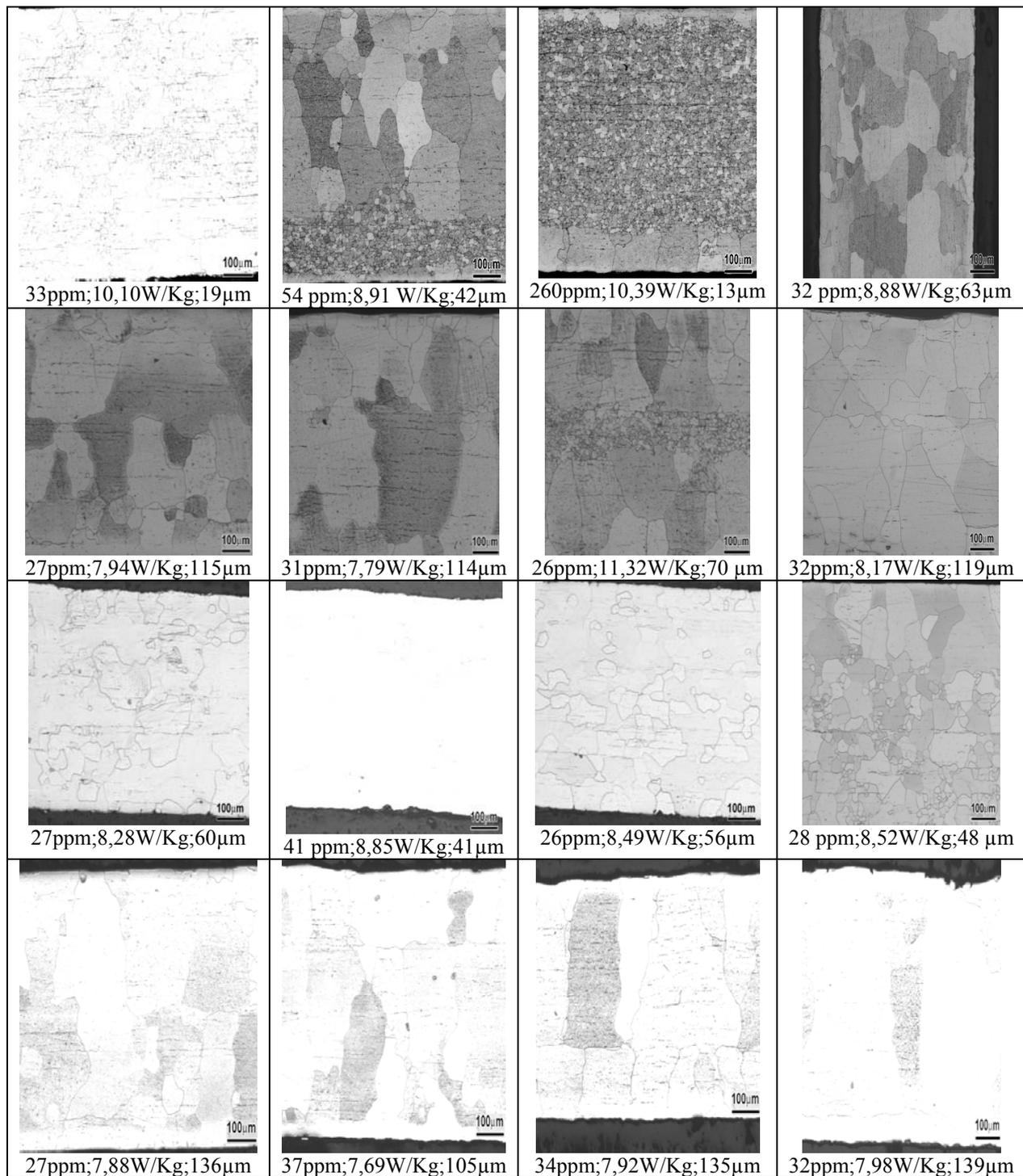
10 minutos, a segunda linha é o ensaio de 20 minutos, a terceira linha 40 minutos e da última(a de baixo) é ensaio de 60 minutos:



**Figura 2.** Micrografias contendo abaixo destas valores de teor de carbono, perdas a 1,5T e TG das lâminas após tratamento térmico de ponto de orvalho de 5°C, ou seja,  $PH_2O/PH_2=0,086$



**Figura 3.** Micrografias contendo abaixo destas valores de teor de carbono, perdas 1,5T e TG das lâminas após tratamento térmico de ponto de orvalho de 15°C, ou seja,  $PH_2O/PH_2=0,17$

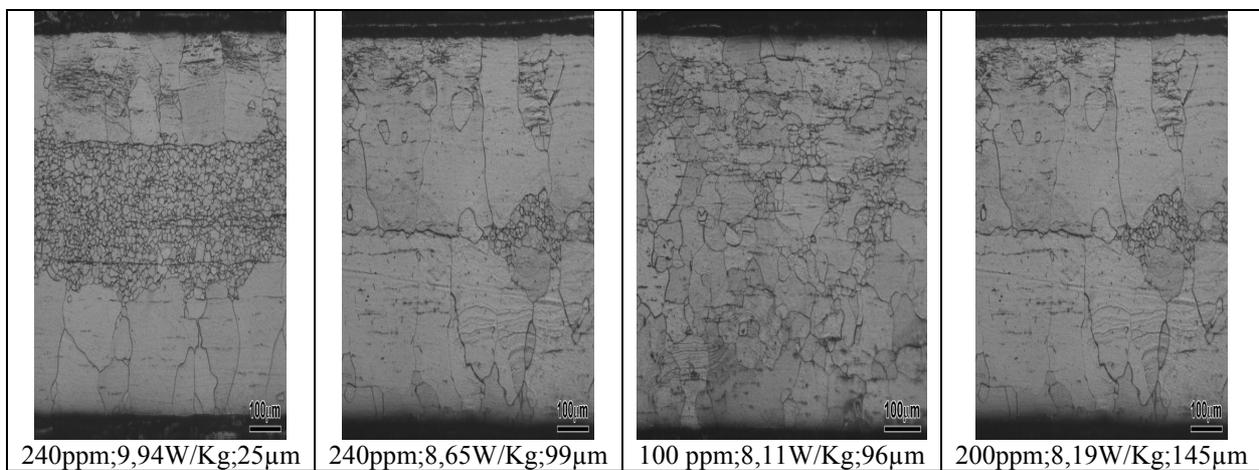


**Figura 4.** Micrografias contendo abaixo destas valores de teor de carbono, perdas a 1,5T e TG das lâminas após tratamento térmico de ponto de orvalho de 25°C, ou seja,  $PH_2O/H_2=0,31$

Nota-se que o empacotamento influi na reação de descarbonetação, já que restringe a troca gasosa que é responsável pelo processo de descarbonetação. Verificam-se, várias vezes, que as lâminas intermediárias são as a que possuem tamanhos de grãos menores, ou possuem uma faixa com grãos pequenos, regiões as quais devem possuir teor de carbono maior, pois a difusão gasosa está sendo restringida pelo contato entre as outras duas lâminas e estas regiões de grãos pequenos geralmente estão no meio do material, região de maior dificuldade para a difusão gasosa.

Devido à diferença de difusão entre os gases entre um lado e outro das lâminas empacotadas, percebe-se que em algumas micrografias que os grãos possuem forma alongada, o que demonstra o crescimento de grãos ferríticos, com teor de carbono menor, em direção aos grãos austeníticos formados durante o ensaio, estes com teor de carbono maior, demonstrando que durante o tratamento o gradiente de teor de carbono influencia no crescimento dos grãos. Percebe-se que a velocidade de descarbonetação é proporcional ao crescimento do grão e a os dados de teores de carbono presentes no material, pois em regiões onde a descarbonetação foi restringida os grãos são menores.

Agora, os experimentos foram realizados com somente nitrogênio (N<sub>2</sub>) como atmosfera, foi utilizado somente uma lâmina, ou seja, uma “solitária” para cada ensaio, o quadro da esquerda para a direita representam o tratamentos térmicos utilizando somente N<sub>2</sub> desde o início do tratamento, nos tempo de 10,20,40 e 60 minutos de patamar:



**Figura 5.** Micrografias contendo abaixo destas valores teor de carbono, perdas a 1,5T e TG das lâminas após tratamento térmico tendo como atmosfera somente nitrogênio

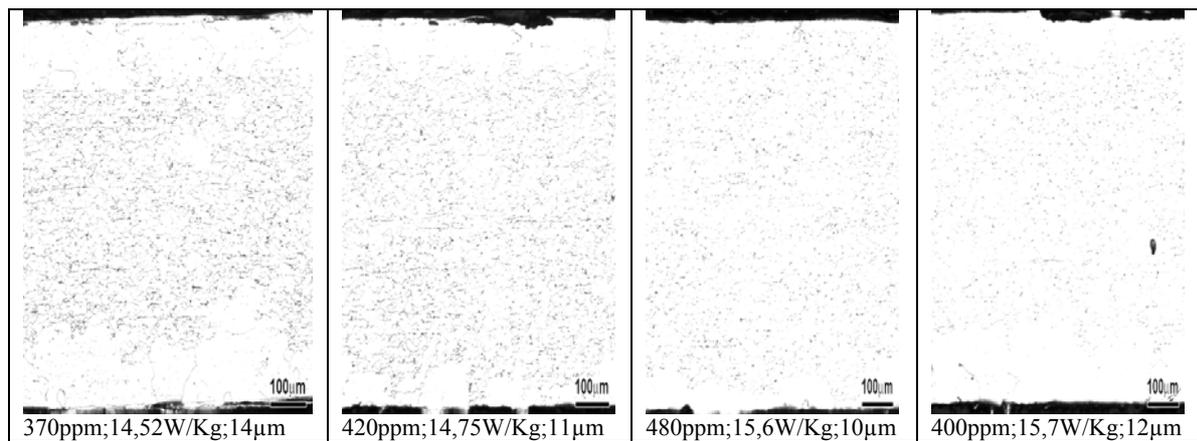
Primeiramente, quando as amostras fossem tratadas termicamente utilizando-se somente nitrogênio, previa-se um mero recozimento do material, mas ocorreu algo imprevisto, ou seja, ocorreu o fenômeno da descarbonetação e conseqüentemente recristalização do material. A descarbonetação do material não chega a níveis tão baixos de teor de carbono que quando se adiciona água à atmosfera do forno utilizando tempos iguais. O ponto de orvalho para estes ensaios não foi medido porque o seu valor era abaixo de 5°C, valor mínimo que nosso medidor de ponto de orvalho alcança (método do espelho). Aí fica a questão que pode ser verdadeira, será que há umidade ou oxigênio no interior dos tanques de nitrogênio que nos são fornecidos? Já que no próprio tanque é indicado que a pureza deste é de 99,9% já que sem umidade não ocorreria descarbonetação.

Analisando os dados de perdas magnéticas presentes nas tabelas, verifica-se novamente que há uma forte ligação microestrutural às propriedades magnéticas, e as propriedades microestruturais com a composição química do material, todas estão interligadas umas às outras. Percebe-se que o tamanho de grão influencia bastante nas perdas e que quanto maior o tamanho dos grãos, menores são as perdas magnéticas medidas.

O tempo de tratamento, ou a taxa de descarbonetação controlam a espessura da camada de grãos finos, já que a tendência do material quando tratado termicamente é recuperar-se, recristalizar e conseqüentemente os grãos crescerem,

pois o material, um aço semiprocessado com skin pass de 4 a 6%, encontra-se encruado. No entanto, se analisarmos o processo de descarbonetação por inteiro, ele é uma fator incisivo para o crescimento do grão e conseqüente nas perdas magnéticas em aços baixo carbono.

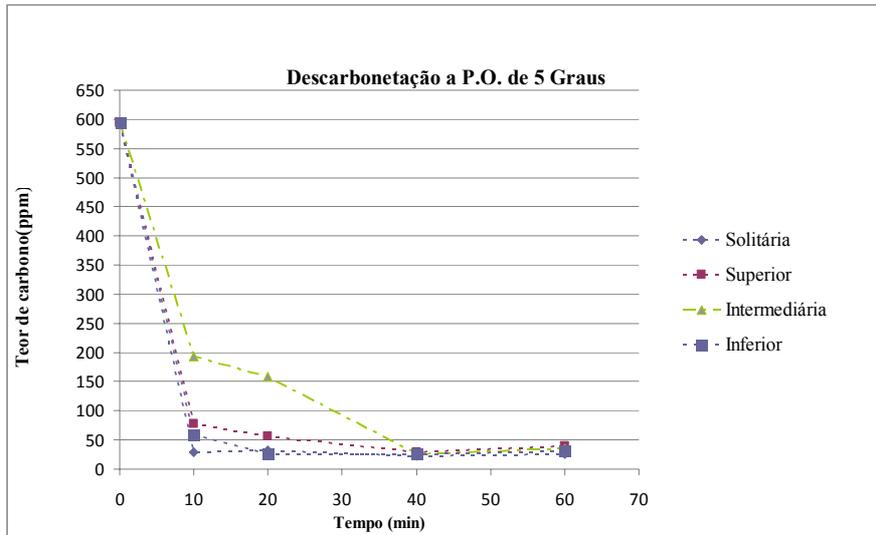
Foi verificado que mesmo não utilizando umidade, o que ocorre nos ensaios “somente nitrogênio”, a atmosfera no interior do forno de algum modo descarbonetou o material, verifica-se isto através da análise microestrutural e de teor de carbono. Para verificar, uma possível descarbonetação pela ação de garrafas de nitrogênio, foi realizado um experimento com somente hidrogênio em um forno tubular durante 60 minutos a 760°C, utilizando uma lâmina solitária e três empacotadas, obteve-se as seguintes resultados:



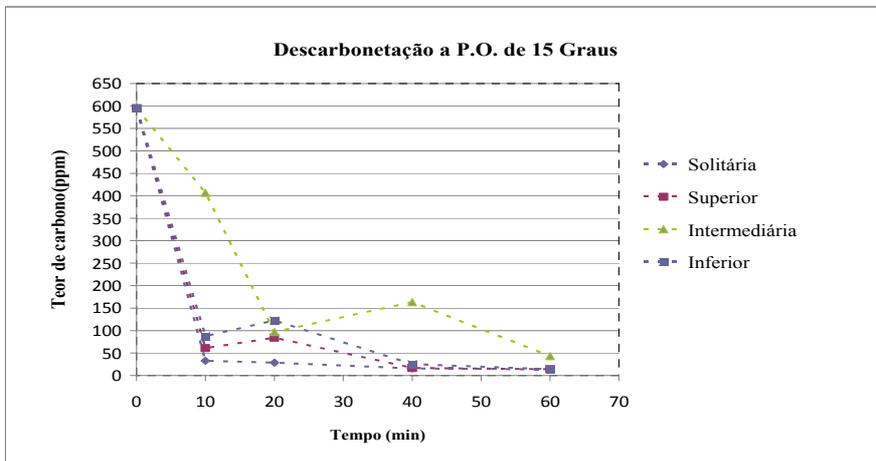
**Figura 6.** Micrografias contendo abaixo destas valores teor de carbono, perdas a 1 e 1,5T e TG das lâminas após tratamento térmico tendo como atmosfera somente hidrogênio

Verifica-se que o teor de carbono ficou em um nível alto, já que é um aço de 450ppm - 600 ppm, portanto não ocorreu descarbonetação. O motivo pelo qual os grãos da superfície cresceram é o maior potencial termodinâmico presente nessa região devido à laminação e um auxílio de diminuição do teor de carbono provocado provavelmente pela oxidação. Nota-se que as garrafas de hidrogênio não causa descarbonetação nos, ou seja, o nitrogênio, ou melhor dizendo o que há no interior (umidade ou provavelmente oxigênio) das garrafas de nitrogênio é a possível causa.

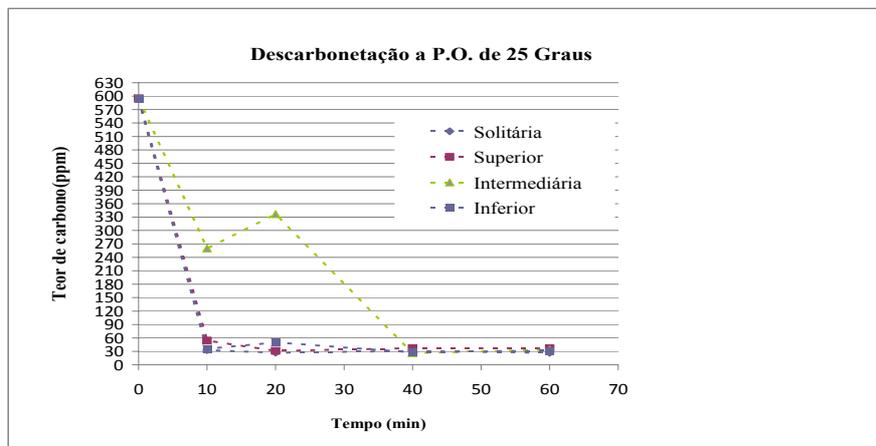
Veremos a seguir a variação do teor de carbono para cada ensaio em função do tempo em que foi realizado o tratamento:



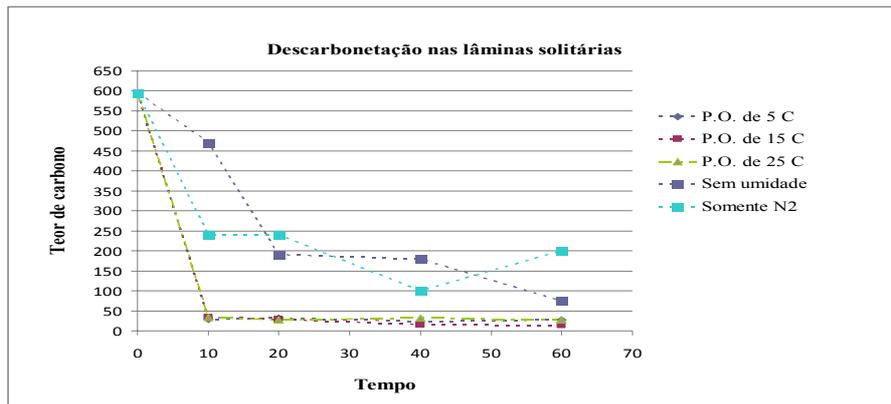
**Figura 7.** Variação do teor de carbono versus tempo de descarbonetação no ensaio de ponto de orvalho de 5°C



**Figura 8.** Variação do teor de carbono versus tempo de descarbonetação no ensaio de ponto de orvalho de 15°C



**Figura 9.** Variação do teor de carbono versus tempo de descarbonetação no ensaio de ponto de orvalho de 25°C



**Figura 10.**Variação do teor de carbono da lâmina solitária versus tempo nos ensaios de diferentes atmosferas

Primeiramente percebe-se que há alguns valores obtidos divergentes do que se esperava já que em vários tempos há um aumento do teor de carbono com o tempo de descarbonetação, porém não chega a ponto de ser descartada a análise química, pois tem que ser observado que a análise de carbono é um processo que necessita haver muita cautela, cuidado e experiência para que não ocorra contaminação da amostra. O que deve ser analisado é a convergência, ao todo, dos dados demonstrados.

Verifica-se que os pontos de orvalho de 15°C e 25°C são os que mais retiram carbono do material, ou seja, são as atmosferas mais descarbonetantes. Agora se comparado ao tamanho de grão e ambientes diferentes de descarbonetação. Percebe-se que o teor de carbono na lâmina intermediária é sempre menor, devido ao bloqueio da interface material-gás dos lados da lâmina, pelo empacotamento destas. E também que o fenômeno da descarbonetação ocorre a uma velocidade relativamente alta já que baixos teores de carbono são atingidos a baixos tempos e que o empecilho da retirada do carbono do aço é o contato entre as lâminas.

Sobre a suspeita de haver umidade nas garrafas (tanques) de nitrogênio parece ser confirmada pela análise de teor de carbono, já que conforme visto nos gráficos não é necessária uma grande quantidade de umidade e nem muito tempo para que ocorra a reação da descarbonetação e, além disso, quando as lâminas foram tratadas somente com hidrogênio não ocorreu descarbonetação.

Agora serão demonstrados graficamente os valores de perdas magnéticas das lâminas por posição no pacote(eixo da abscissa), por tempo e pelas atmosferas utilizadas. Os valores de perdas magnéticas estão em W/Kg e o tempo em minutos.

O ponto zero(0), um(1), dois(2) e três(3) do eixo da abscissa se referem, respectivamente às perdas na lamina solitária, lâmina superior, lâmina intermediária e lâmina inferior.

Serão demonstrados, a seguir, os valores para perdas magnéticas a indução magnética de 1,5T e frequência de 60Hz com relação a posição no ensaio e com o tempo:

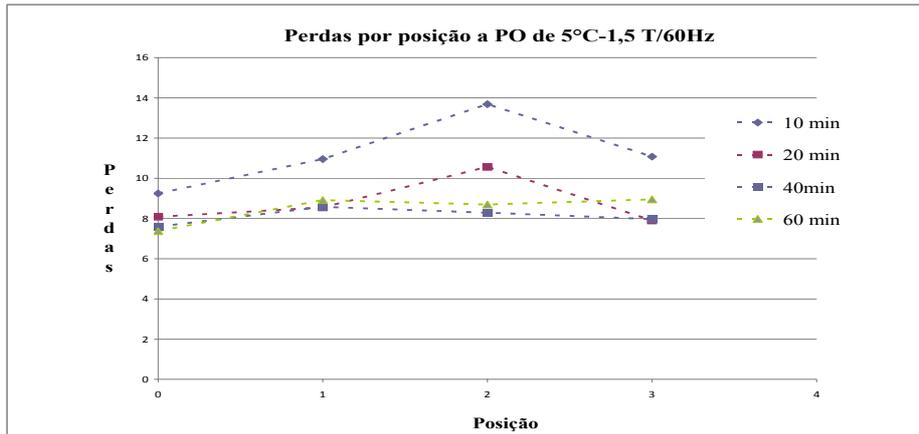


Figura 11. Perdas em relação a posição no ensaio de ponto de orvalho de 5°C

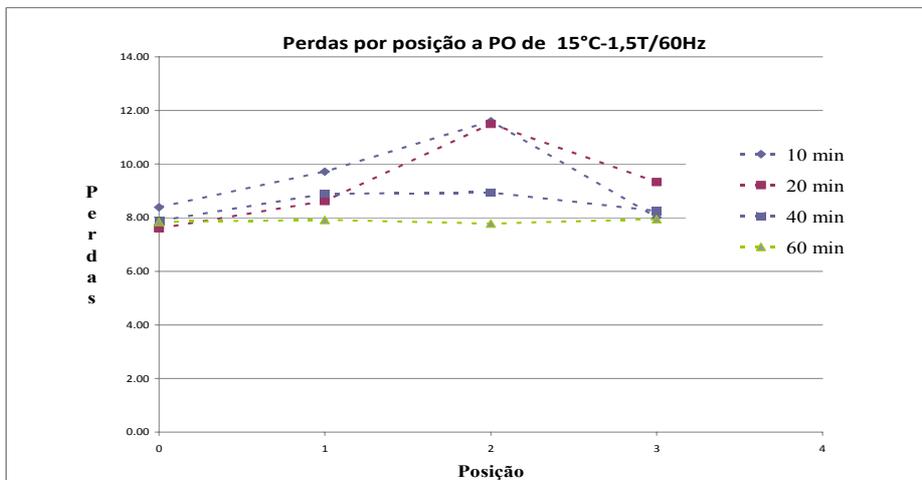


Figura 12. Perdas em relação a posição no ensaio de ponto de orvalho de 15°C

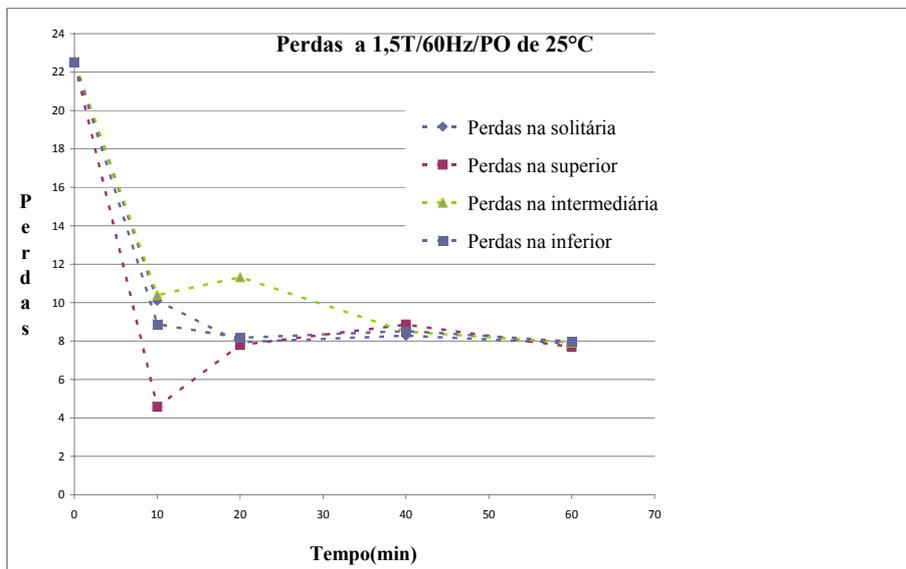
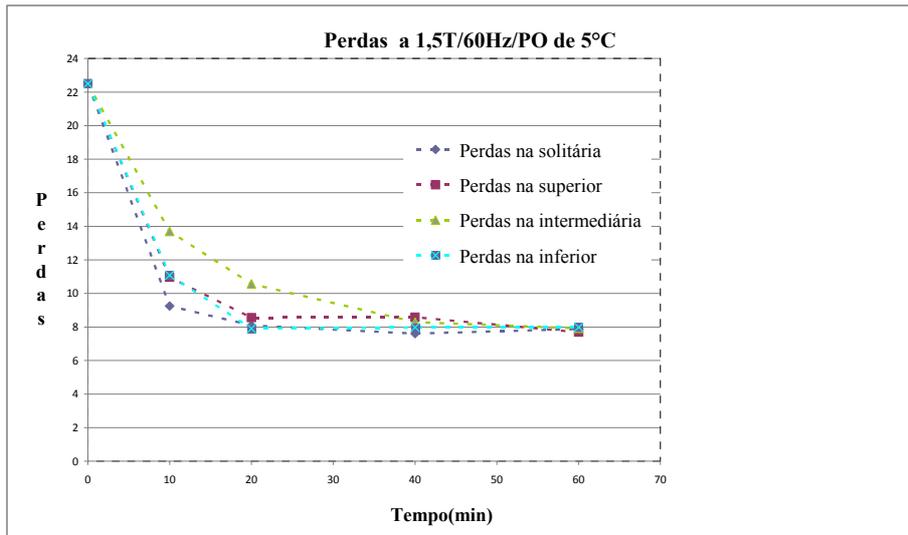
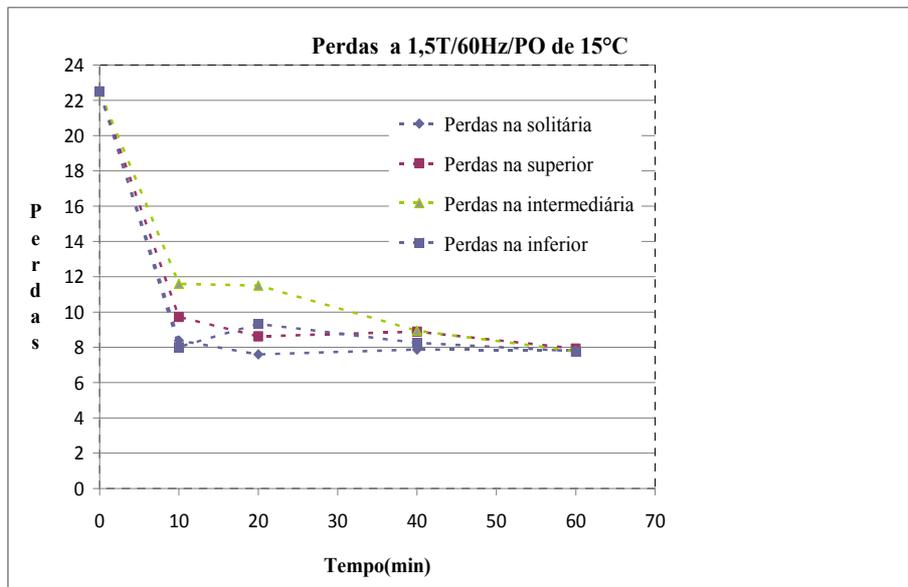


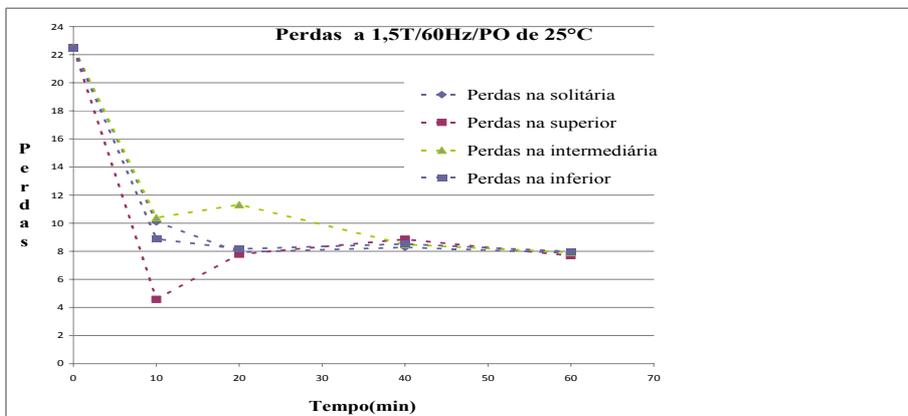
Figura 13. Perdas em relação a posição no ensaio de ponto de orvalho de 25°C



**Figura 14.** Perdas em relação ao tempo no ensaio de ponto de orvalho de 5°C



**Figura 15.** Perdas em relação ao tempo no ensaio de ponto de orvalho de 15°C



**Figura 16.** Perdas em relação ao tempo no ensaio de ponto de orvalho de 25°C

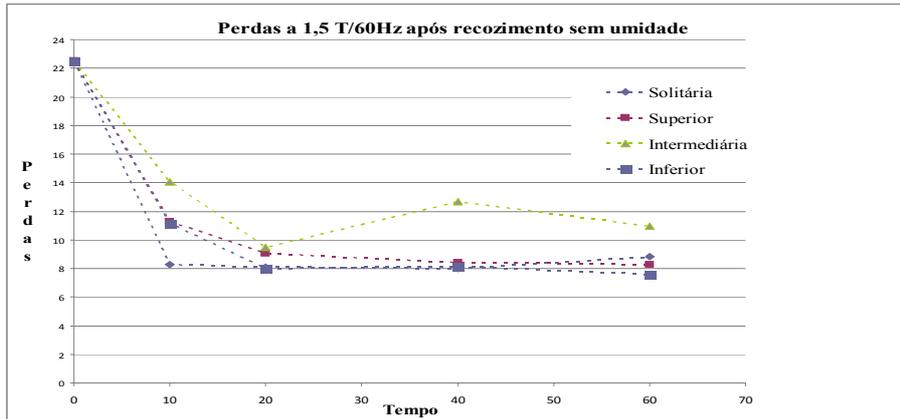


Figura 17. Perdas em relação ao tempo no ensaio sem umidade

O ensaio “sem umidade” significa que interior do forno havia somente os gases das garrafas de nitrogênio e de hidrogênio foram utilizados:

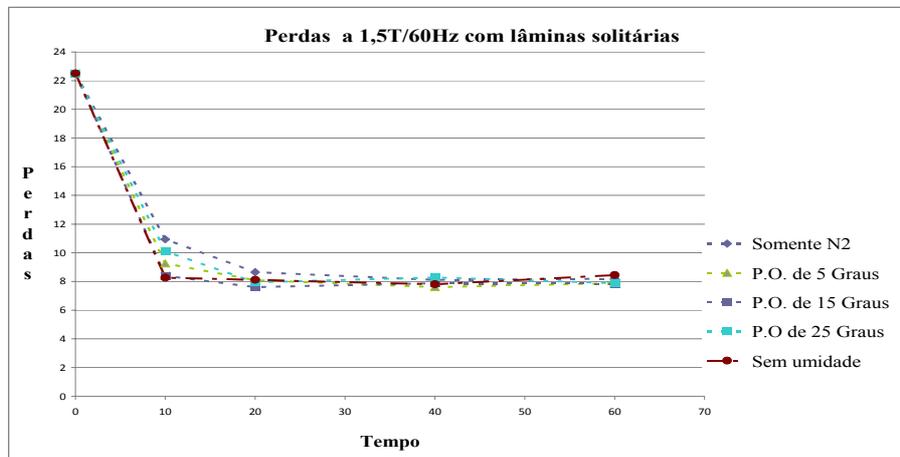


Figura 18. Perdas em relação tipos de atmosferas no interior do forno, sendo as amostras “solitárias” analisadas

Verifica-se que as perdas magnéticas são abaixadas bem rapidamente como ao mesmo nível da saída de carbono no material e que atingem um patamar (uma faixa de valores), em tempos relativamente baixos indiferentemente da atmosfera utilizada, ou seja, a taxa de descarbonetação está fortemente influenciando sobre as perdas considerando que o processo descarbonetante é rápido em qualquer atmosfera descarbonetante e em conjunto do processo de recuperação e descarbonetação (sem esta etapa não ocorre recristalização) ocorre uma queda relativamente alta das perdas magnéticas em tempos baixos, aliás tem que ser ponderado que durante o aquecimento do material (taxa de aquecimento = 10°C/minuto), este já está sendo recuperado e que tem que ser aquecido até 760°C. Algo que certamente difere estes resultados dos que poderiam ser de uma indústria, é a certeza que todas as lâminas do conjunto de cada tratamento térmico, em todos os seus pontos, chegavam a temperatura de 760°C quase junto com o forno.

Nota-se que as lâminas intermediárias são aquelas, que geralmente, possuem maiores perdas e grãos menores, certamente devido ao empacotamento, fato já discutido e secundariamente pelo aquecimento retardado em relação as outras lâminas.

A seguir será demonstrado o tamanho de grão(TG) médio das amostras dos ensaios realizados.

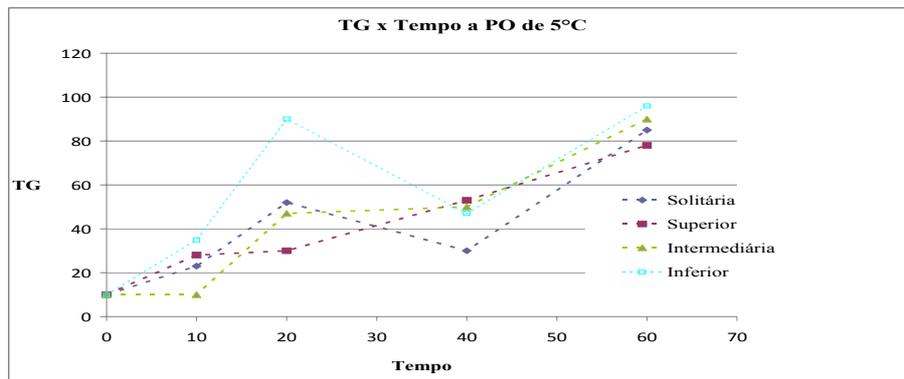


Figura 19. Tamanho de grão versus tempo de tratamento de ponto de orvalho de 5°C

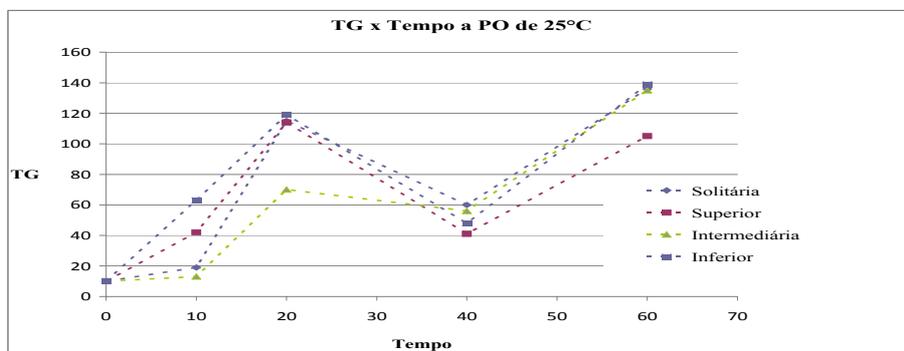


Figura 20. Tamanho de grão versus tempo de tratamento de ponto de orvalho de 15°C

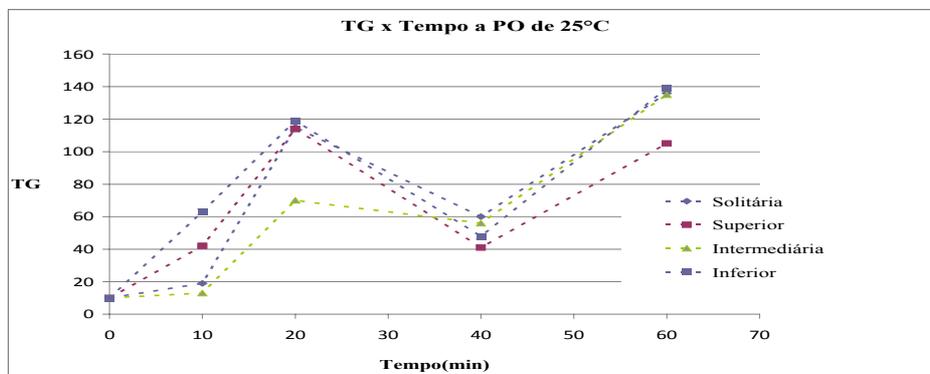


Figura 21. Tamanho de grão versus tempo de tratamento de ponto de orvalho de 25°C

Verifica que nos experimentos que se utilizou baixa umidade, ou seja, o de ponto de orvalho de 5°C os grãos não chegaram a atingir 100μm, já nos outros ensaios e excepcionalmente no ensaio com somente nitrogênio, os grãos ultrapassaram de 100μm. No entanto, nota-se em algumas amostras contendo grãos grandes em tempos curtos demonstra que grande parte do material já se recristalizou, ou seja, durante o aquecimento do material, tendo como atmosfera somente o nitrogênio, além da recuperação está ocorrendo também a formação de núcleos de recristalização, já que a câmara do forno está purgada, há uma suspeita que nos tanques de nitrogênio utilizados possa haver umidade e/ou oxigênio, ou na tubulação há uma entrada de ar, sendo isto improvável, porém a atmosfera está descarboxetando de alguma maneira o material senão ocorreria crescimento anormal de grão.

## 4 CONCLUSÃO

Nota-se que muitos tópicos da literatura sobre materiais magnéticos são confirmados pelo trabalho em questão, como a questão do tamanho de grão em relação às perdas magnéticas.

Verifica-se que a descarbonetação é um fenômeno relativamente rápido e pode ser restringido se houver livre contato da atmosfera gasosa com o material. A restrição ao contato livre com a atmosfera faz com o que material não somente recristalize-se parcialmente mas também que possua perdas magnéticas maiores que os materiais que não possuem tal restrição.

E de maneira semelhante à variação de teor de carbono, as perdas magnéticas diminuem, ou seja, também de maneira relativamente rápida.

## Agradecimentos

Ao Prof.Dr.Fernando José Gomes Landgraf e a toda a equipe que trabalha no prédio 3 do IPT que de alguma forma colaborou em diversos conteúdos do trabalho.

Ao IPT que forneceu toda a parte instrumental e física necessária para a realização deste, à Escola Politécnica-USP forneceu a base teórica no qual o trabalho se fundamenta e ao CNPq que financiou o projeto n°:384216/2006-4.

## REFERÊNCIAS

- 1 SILVA,E.C.“Descarbonetação de aços elétricos em lâminas empacotadas”. 62°Congresso da ABM, p.4101-4112,2007.
- 2 ARAÚJO,E.G.“Incubação da recristalização em chapas de aço submetidas a pequenas deformações”. 62°Congresso da ABM, p.3435-3448,2007.
- 3 SOENEN,BART. “Modelling decarburization in electrical steels”. Steel Research International 76,n.6,p.425-428,2005
- 4 ROSYPAL,FRANTISEK.“Decarburization annealing of grain-oriented silicon steel with ALN as inhibitor”. Journal of Magnetism and Magnetic Materials”. v.133,p.220-222,1994.
- 5 MARRA,K.M.“Decarburization kinetics during annealing of a semi-processed electrical steel”.ISSJ Internatioanl,vol.44,n.3,pp618-622,2004.
- 6 MARRA,K.M. “Cinética de descarbonetação de um aço GNO semiprocessado e sua influência nas propriedades magnéticas e na susceptibilidade ao envelhecimento magnético”. Belo Horizonte-MG: Escola de Engenharia da UFMG,2002.
- 7 PADILHA,A.F.“Encruamento, recristalização,crescimento de grão e textura”,p.29.3ed. ABM, São Paulo, 2005.
- 8 CASTRO,N.C.“Textura e recristalização de aços elétricos de grão não-orientado”.São Paulo-SP:Escola Politécnica-USP,2007.Tese(Doutorado)-Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, São Paulo-SP,2007
- 9 VIANA, C.S.C.“Deformação, recristalização e textura”.Curso ABM,2001.