

Luiz Fernando de Lucca Gasperetti

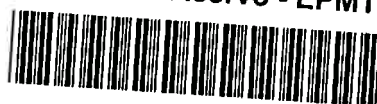
**Estudo dos Tratamentos de Modificação
da liga de Alumínio A-319**

Trabalho de conclusão da disciplina
PMT 594 - Trabalho de Formatura.
Departamento de Engenharia
Metalúrgica e Materias da Universidade
de São Paulo.

Orientador: Prof. Erberto Francisco
Gentile.

Coordenador: Prof. Stephan Wolynech

DEDALUS - Acervo - EPMT



31800004114

São Paulo

1996

Sumário

Introdução	2
Objetivo	2
A nova situação econômica mundial e a indústria automobilística.	2
Revisão da Literatura	8
As ligas de Al mais usadas na fundição	8
Microestrutura das ligas Al-Si-Cu	9
Teoria da modificação da fase beta	11
Modificação com Antimônio, Estrôncio e Sódio	12
Relação entre modificação e porosidade	15
Procedimento Experimental	17
Resultados e Discussão	20
Conclusão	27
Referências Bibliográficas	28
Anexo I : Escala de Modificação	30

Introdução

Objetivo

Este trabalho tem como objetivo estudar os tratamentos de modificação da liga A-319.

A nova situação econômica mundial e a indústria automobilística.

É fato notório que, nesta década, a economia mundial mudou muito. A queda dos regimes socialistas e a formação de blocos econômicos estão levando as economias de todos os países do mundo, em maior ou menor grau, a se integrarem entre si.

Esta recente integração das economias denominada globalização é inevitável e tende a se expandir. Portanto aqueles que não se prepararem perderão lugar ou simplesmente não farão parte do mundo sem barreiras que se aproxima.

As empresas automobilísticas, em função do enorme e lucrativo mercado que possuem, serão (e já estão sendo) uma das mais afetadas pela nova ordem econômica mundial. Elas estão se reestruturando a nível mundial: cortando custos, desenvolvendo projetos mundiais (no qual uma família de modelos baseados em uma plataforma comum é produzida em vários países) e investindo muitos recursos em pesquisas e tecnologia. Desta maneira percebe-se facilmente o potencial de mudança trazido para todos os setores ligados a ela.

Devido as recentes pesquisas ambientais que revelaram os efeitos nocivos da ação do homem houve o fortalecimento de entidades, práticas e políticas ambientais de tal maneira que nos países desenvolvidos a pressão "ecológica" sobre as empresas tornou-se tão grande que em alguns casos pode determinar o fracasso (ou sucesso) de um empreendimento.

Atualmente esta pressão ecológica é outro grande desafio colocado às empresas do setor automotivo. Os efeitos

negativos da poluição causada pelos carros, principalmente nas grandes cidades, são tão evidentes que algumas legislações estão sendo modificadas, impondo limites às emissões de gases e em alguns casos até obrigando o desenvolvimento de automóveis não poluidores.

Também têm aumentado muito a discussão sobre o que fazer com os carros quando eles não são mais utilizados, ou seja, a questão da reciclagem têm ganhado enorme importância.

Esta rápida abordagem dos problemas ambientais já é suficiente para exigir grandes mudanças na produção, nas tecnologias, em materiais, procurar novas estratégias de *marketing*, etc.

Como será abordado neste trabalho O Alumínio têm um papel muito importante na solução destes problemas, tanto a curto como a longo prazo.

Em função do recente desenvolvimento da ciência e engenharia dos materiais têm levado os novos materiais (no sentido da aplicação) a competir e até por substituir materiais tradicionalmente utilizados em carros. Será feito aqui uma breve análise realística entre os novos materiais que despontam no setor automobilístico:

Polímeros: seu uso tem aumentado bastante de maneira constante, porém seu uso é limitado ao interior dos veículos e partes não estruturais ;

Compósitos: têm tido avanços, porém estão muito longe de terem preços competitivos e são utilizados em partes muito específicas³;

Magnésio e suas ligas: sua participação tem aumentado, porém de forma modesta. As ligas de Mg são os materiais estruturais de menor densidade o que as faz competir diretamente com as ligas de Alumínio mas devido a alguns problemas (como corrosão e dificuldades na fusão) suas vantagens sobressaem apenas em produtos específicos¹³;

Novos Aços: à curto prazo são a opção mais viável e de custo mais baixo. Atualmente a indústria do aço¹² vêm desenvolvendo novas tecnologias e produtos de forma a

manter o aço competitivo (não só no preço como no desempenho) principalmente em relação ao futuro entre esses produtos temos: aços duplex, aços *bake-hardening*, aços microligados e aços revestidos ;

Alumínio e suas ligas: segundo Monte e Admiani⁶ constituem a grande aposta da indústria automobilística, tanto para o presente e principalmente para o futuro. É sabido que vários componentes dos veículos atuais são feitos em Alumínio e que as maiores empresas do setor automotivo têm projetos e/ou protótipos de carros onde o Alumínio substitui quase totalmente (ou totalmente) o aço.

Em função do seu grande potencial será pormenorizado aqui as propriedades do Alumínio em relação aos demais materiais usados na fabricação de carros.

- **baixa densidade:** é característica mais vantajosa do alumínio, a sua densidade em relação a dos aços é cerca de 1/3 embora seja maior que a do magnésio. Este fato é o mais importante em relação à questão ambiental, já que redução do peso dos automóveis se traduz em um menor consumo de combustível e por sua vez, menor poluição. Segundo GRUZLESKI e CLOSSET¹⁰ estudo realizado pela Ford Motor é possível uma economia de 1 litro de combustível a cada 120 km com uma redução de 200 kg no peso do veículo, assim durante sua vida útil a economia seria de aproximadamente 1000 litros; empresa Alusuisse demonstrou que a troca de componentes feitos de aço por Al resulta em uma economia, ao longo de 10 anos, de cerca de 850 litros de combustível. Porém algumas ressalvas devem ser feitas:

- a simples substituição do material, sem a reestruturação do projeto e do processo não leva a grandes reduções de peso quando comparadas a um projeto integrado ;

- deve-se lembrar também que certas partes do automóvel que são submetidas a grandes esforços e têm enorme responsabilidade nunca serão feitas de alumínio.

- **resistência à corrosão:** é sabido que o Al têm uma excelente resistência à corrosão, muito superior à do aço-

carbono comum e até mesmo em relação ao aço revestidos, implicando que os aço sempre estão em desvantagem. Embora as técnicas atuais de proteção (principalmente a galvanização) possam garantir longa vida útil, isto ainda representa uma desvantagem já que aumenta o custo final.

- **reciclabilidade:** aqui temos uma situação bastante interessante. Como se sabe o Alumínio têm alto custo inerente ao seu processo de produção que é totalmente dependente de energia elétrica. Portanto a utilização do alumínio em automóveis está limitada pelo seu alto custo. Esta situação tende a se inverter no futuro devido aos seguintes fatores:

- a pressão ambientalista, que tende a aumentar, força a fabricação de “produtos verdes” (*green*), ou seja, produtos que acabem (ou pelo menos diminuam) a agressão ao meio ambiente durante a fabricação, vida útil e descarte;

- devido ao fato do alumínio ter alto custo, quando comparado aos materiais ferrosos, sua reciclagem é sempre vantajosa;

- como a reciclagem do alumínio é sempre vantajosa, aumenta cada vez mais a percentagem de sucata no volume total de alumínio disponível (gráfico 1), e como a sucata é muito mais barata (os custos são praticamente de coleta, transporte e transformação) o preço cai;

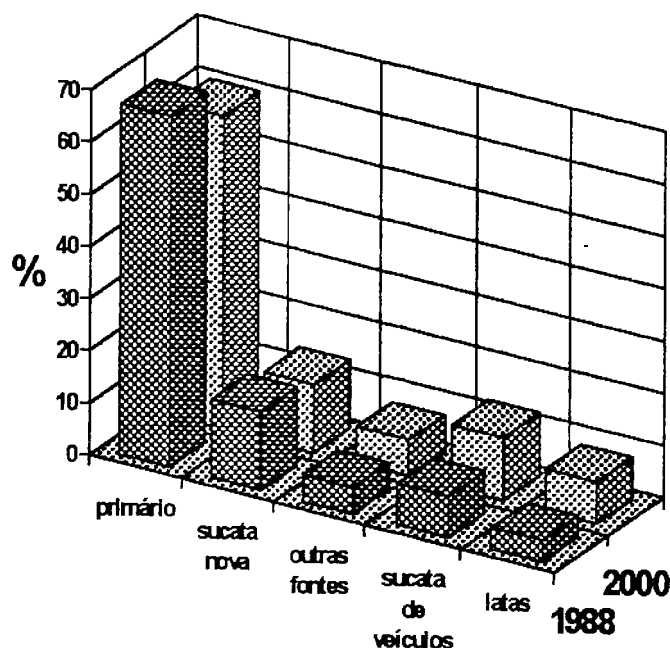


Gráfico 1: Fontes de Alumínio no Mundo Ocidental¹
(adaptado)

Em função do processo de produção usado, as peças serão divididas em peças fundidas e peças não-fundidas.

- peças não-fundidas: obtidas por processos de laminação, estampagem, forjamento e extrusão.
- peças fundidas: obtidas por vazamento do metal líquido em um molde com a forma da peça. Em função do material do molde e do tipo de vazamento se define os diversos processos de fundição, sendo que os principais são: fundição em molde de areia, fundição em molde permanente (coquilha) e fundição sobre pressão (*die casting*).

Conforme foi citado o alumínio têm um potencial enorme, tanto atual como (e principalmente) no futuro. A indústria da fundição atingiu um alto grau de maturidade; as novas unidades como a reportada por KANICKI⁹ tem alta produção, excelente qualidade além de respeitarem rígidas normas ambientais. Aos poucos o setor automotivo incorpora a avançada tecnologia usada na indústria aeronáutica para a produção de peças fundidas (chamadas *premium quality castings*) que incluem fusão à vácuo, controle rígido da composição química, projeto da peça assistido por

computador entre outras¹⁷. Em função disto este trabalho se baseia no estudo de ligas para a produção de peças fundidas, pois são elas que no mercado atual vêm ganhando espaço (tabela 1) e consolidando a posição do Alumínio.

Esta consolidação é de fundamental importância, pois para implementar maciçamente o uso do alumínio será necessário um alto investimento em tecnologia para o desenvolvimento dos demais processos (laminação, extrusão, forjamento, estampagem) que viabilizarão a construção em Alumínio da carcaça, estrutura e vários outros componentes.

Ano	1965	1970	1975	1977	1979	1982	1984	1987	1989
Fundidos	24	26	27	29	33	36	37*	40*	43*
Trabalhados	8	9	11	15	20	24	25*	26*	28*
total	32	35	28	44	53	60	62	66	71

* estimado

Tabela 1. Conteúdo médio de Al (Kg/veículo) nos automóveis americanos¹⁰

Revisão da Literatura

As ligas de Al mais usadas na fundição

Segundo ASM¹⁷ as ligas mais usadas são as ligas Al-Si e derivadas (de 85% a 90% da produção de fundidos) que segundo a Aluminum Association tem a designação respectivamente dada por 4xxx.x e 3xxx.x . A razão pela escolha quase unânime destas ligas deve-se ao fato delas reunirem as seguintes propriedades:

- facilidade de fundição ("fundibilidade"): O Si aumenta significativamente a fluidéz, reduz o intervalo de solidificação e na maioria dos casos, diminui a temperatura de vazamento além da diminuição da contração volumétrica. Esses fatores melhoram significativamente as operações de fundição;
- boas propriedades mecânicas: muitas variáveis influem nessas propriedades tais como: projeto da peça, composição da liga, processo de fundição, tratamento térmico e tratamentos durante a fundição (processo de fusão, desgaseificação, refino e modificação).
- bom acabamento superficial do fundido bruto.

Liga	Processo*	Si	Cu	Mg	Fe	Zn	Outros
319.0	A,B	6.0	3.5	<0.10	<1.0	<1.0	
332.0	B	9.5	3.0	1.0	1.2	1.0	
355.0	A,B	5.0	1.25	0.5	<0.06	<0.35	
A356	A,B	7.0	<0.20	0.35	<0.2	<0.1	
A357	A,B	7.0	<0.20	0.55	<0.2	<0.1	0.05 Be
380.0	C	8.5	3.5	<0.1	<1.3	<3.0	
384.0	C	11.0	2.0	<0.3	<1.3	<3.0	0.35 Sn
390.0	C	17.0	4.5	0.55	<1.3	<0.1	<0.1Mg
443.0	A,B	5.25	<0.3	<0.05	<0.8	<0.5	

* Processo: A: areia, B: coquilha, C: sob pressão

Tabela 2: Composição (em peso) das ligas mais usadas¹²
(Adaptado)

Liga	Componentes Típicos
319.0	carcaças de caixa de transmissão, tanques de óleo e gasolina
332.0	pistões e polias
355.0	cárter
A356	rodas e partes estruturais de alta resistência
A357	partes que requerem resistência à corrosão
380.0	caixa de engrenagens, freios de aviões
384.0	pistões e transmissões automáticas
390.0	blocos e coletores
443.0	corpo de carburadores

Tabela 3: Componentes típicos fundidos¹⁰

Neste trabalho foi utilizada uma liga A-319 fornecida pela empresa ALCOA cuja composição química nominal (em peso) dada pelo certificado emitido por ela é: 6% Si; 4% Cu; 0,20% Mg; 0,45% Mn; 0,08% Sn. Esta liga é utilizada somente para fundição, tanques de óleo e gasolina, cabeçotes e carters de motores são peças típicas.

Microestrutura das ligas Al-Si-Cu

O sistema Al-Cu-Si **não apresenta fases intermetálicas ternárias¹¹**. As fases em equilíbrio com o alumínio são o CuAl_2 e o Si. A solubilidade do Si no Al sólido é reduzida pela presença do Cu. Em ligas comerciais, além do CuAl_2 e do Si, a fase Fe_2SiAl_8 ou a fase FeSiAl_5 estão sempre presentes. Em virtude destas fases se apresentarem como eutético irregular e o teor de ferro ser pequeno o efeito prejudicial destas fases nas propriedades mecânicas é pequeno. As ligas Al-Si-Cu são tratáveis termicamente por solubilização e envelhecimento o que melhora muito as propriedades mecânicas embora a resistência à corrosão seja menor. Pela figura 1 nota-se que a liga A-319 é hipoeutética e que o Si e o Al praticamente não se dissolvem um no outro e pela figura 2 as fases em equilíbrio. Os demais elementos químicos ficam em solução na fase alfa (do alumínio). Devido ao fato da modificação ser exclusiva do Si concluímos que ligas hipoeutéticas de composição diferente mas onde o Si apareça na forma beta terão, em

termos de modificação, a mesma resposta. Isto capacita a extrapolação dos resultados para outras ligas que se enquadrem nestas condições.

A seqüência de solidificação para a liga usada é a seguinte:

- formação da fase Alfa pró-eutética;
- reação eutética (aproximadamente 577°C)
- L (líquido restante) → Alfa (alumínio) + Beta (silício).

O principal problema é exatamente a morfologia da fase beta, como é constituída somente de Si sua fração volumétrica é pequena, mas a sua forma é lamelar. Esta morfologia é extremamente prejudicial às propriedades mecânicas, pois torna a fase beta na fase que esta em maior continuidade porém beta é extremamente frágil e nesta morfologia lamelar atua como concentradora de tensões. Logo a liga no estado bruto de fusão é frágil.

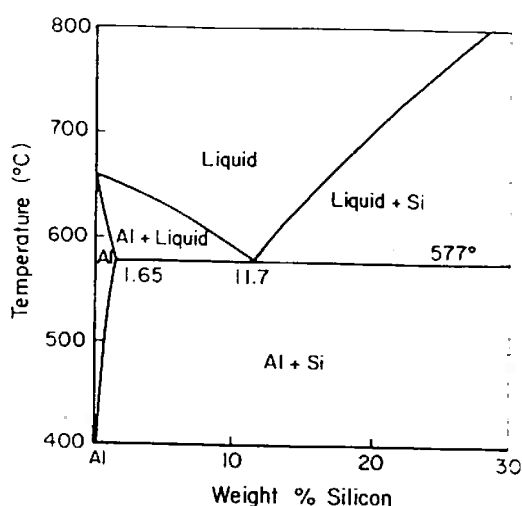


Figura 1. Diagrama Al-Si (23)

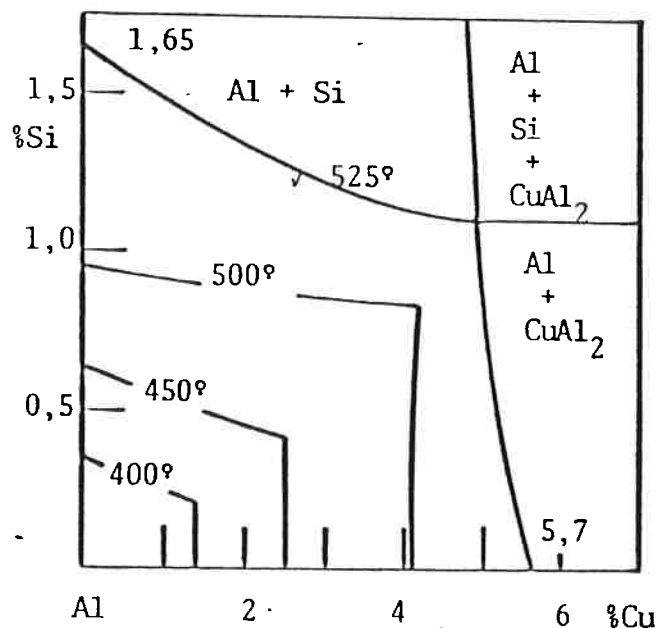


Figura 2. Solubilidade do Cu e Si no Al sólido no sistema ternário

Teoria da modificação da fase beta

Segundo GRUZLESKI e CLOSSET¹⁰ o crescimento normal dos cristais de Si se dá praticamente somente na direção $\langle 112 \rangle$ isto implica nas grandes faces planas na direção $\langle 111 \rangle$ e daí o aspecto lamelar da fase beta (figura 3). Na fase beta modificada ocorre um defeito cristalográfico chamado maclas, que constitui no desvio de um grande número de átomos do plano de direção $\langle 111 \rangle$ em torno de um plano conhecido como plano de maclação (figura 4), esses defeitos formam uma interface de solidificação que não é plana mas forma um ângulo de 141° com a fase líquida e a solidificação se dá pela adição de átomos aos degraus formados pelas maclas. Estudos em microscopia eletrônica mostraram que é o número de maclas que determina a modificação, quanto maior o número destes defeitos, maior a tendência do cristal a se ramificar. A maneira mais eficiente de aumentar o número destes defeitos é através da adição de um elemento químico que tenha um raio adequado em relação ao raio do átomo de Si (raio do elemento: raio do Si = 1,646), este elemento causará uma perturbação no crescimento modificando a estrutura de lamelar em fibrosa.

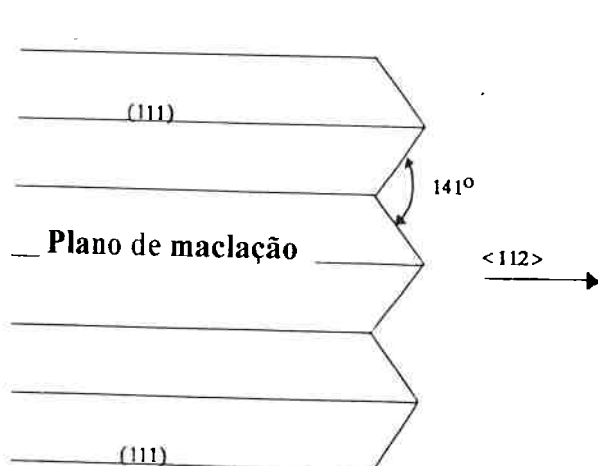


Figura 3. Representação esquemática do crescimento do Si lamelar¹⁰.

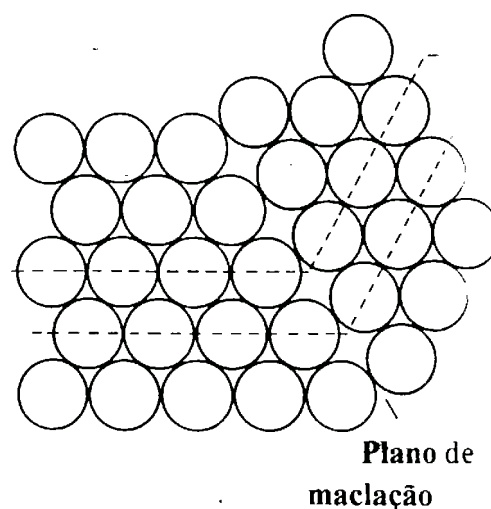


Figura 4. Representação esquemática do desvio dos átomos de Si ao longo do plano de maclação¹⁰.

Existe uma outra maneira de modificação, que não é química, mas através da taxa de resfriamento, estudos cuidadosos mostraram que este tipo de modificação não altera a cristalografia dos cristais de beta e sim cria um grande número de cristais muito pequenos. Para ocorrer este tipo de modificação a velocidade de resfriamento deve ser muito alta, ou seja, na prática apenas na fundição sob pressão há condições de ocorre este fenômeno.

Modificação com Antimônio, Estrôncio e Sódio

Entre os elementos testados, apenas três se mostraram efetivos na modificação, são eles antimônio (Sb), estrôncio (Sr) e sódio (Na), em função disto um detalhamento destes elementos será feito levando em conta os seguintes aspectos: disponibilidade, manipulação, possibilidade de misturas/contaminação de sucata e grau de modificação proporcionado. Em relação a este último aspecto é necessário estabelecer uma escala de classificação das estruturas modificadas (em grau crescente de modificação) a fim de podermos comparar a eficiência dos diversos modificadores, o anexo I traz esta escala. FUOCO¹² concluiu que Sb produz apenas estruturas de classe 2, porém as peças fundidas tem propriedades mecânicas melhor ou igual às peças fundidas modificadas com Sr ou Na, além de não haver perda de antimônio no banho. Porém há grandes dificuldades surgidas do fato que o Sb é tóxico e exige cuidados especiais na manipulação e, principalmente, interage de maneira negativa com os outros dois modificadores; o que é extremamente prejudicial no caso de processamento de sucatas. Uma vez que não há perdas e a sua interação com os demais modificadores é negativa, é muito difícil o tratamento de sucatas contendo antimônio. Devido a estas complicações não abordaremos o uso do antimônio neste trabalho.

Em relação ao sódio, este elemento produz as melhores estruturas (classe 5) e também de distribuição mais uniforme, a disponibilidade do Na também é fácil e barata

tanto na forma metálica ou de sal (formando um fluxo salino sobre o banho metálico). Porém a principal desvantagem do Na é a sua perda acelerada por evaporação (gráfico 2) (o sódio tem alta pressão de vapor) e portanto para grandes quantidades de alumínio líquido que ficam a espera do momento do vazamento (principalmente na produção seriada de peças pequenas) é possível que não haja sódio suficiente para a modificação da liga e possivelmente seja até difícil detectá-lo pelas técnicas atuais de espectroscopia⁸, o que, por outro lado é uma vantagem no caso do uso de sucatas o contêmham.

Quando a adição é feita através de fluxos, é usual dar a percentagem de fluxo usada (que varia com o fluxo usado). A adição de fluxos pode ser bastante trabalhosa uma vez que havendo uma drosse sobre o banho (sobretudo em fornos abertos) esta pode criar uma interface entre o banho metálico e o fluxo aumentando o tempo para o Na entrar no metal líquido ou até separar o fluxo do banho.

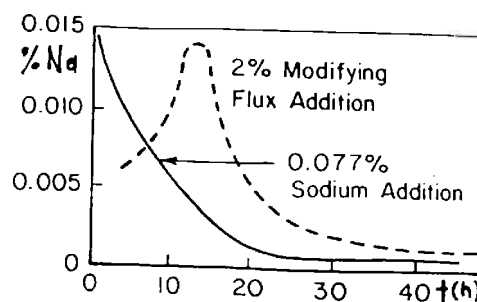


Gráfico 2. % de Na versus Tempo de espera¹⁰.

Finalmente, o estrôncio também produz estruturas bem modificadas (embora menos uniformes e um pouco inferiores as produzidas pelo sódio) e como vantagem têm um efeito semi-permanente (gráfico 3); mas a dissolução requererum tempo relativamente longo para entrarem em solução. As interações entre o estrôncio e sódio são positivas, ou seja há

um efeito sinérgico entre estes dois elementos de modo que um supre lacunas do outro, este fato é revelado no gráfico 4:

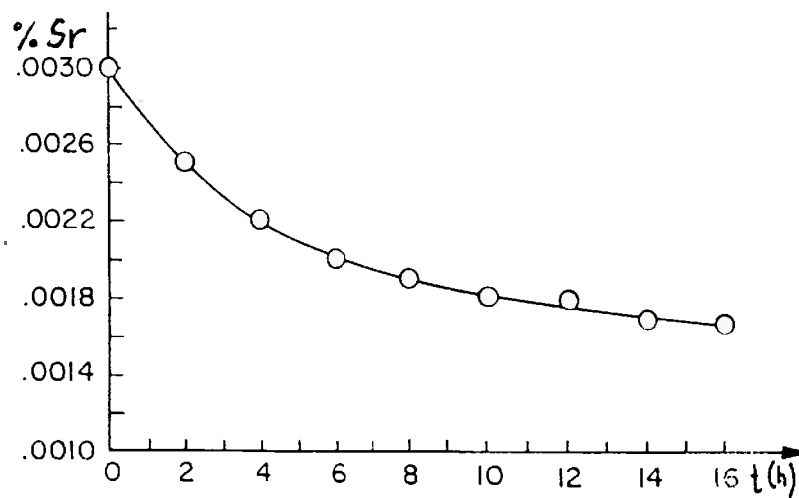


Gráfico 3. % de Sr versus tempo (horas)¹⁰

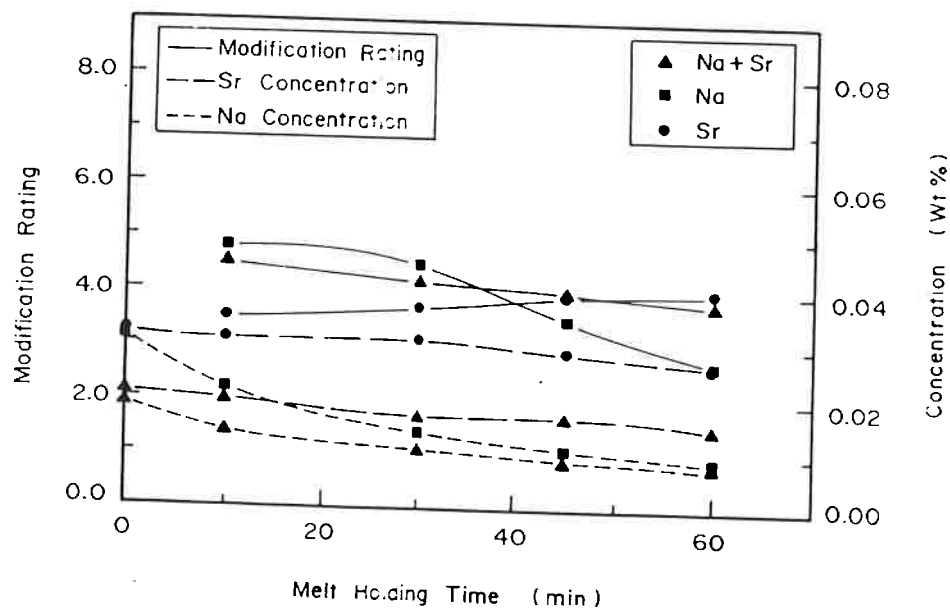


Gráfico 4. Comparação entre modificação com Na, Sr e Na+Sr¹⁰

Relação entre modificação e porosidade

O tratamento de modificação além de colocar novos elementos químicos na liga, modifica a morfologia de uma das fases presentes é mais ou menos evidente que estas modificações se manifestem no modo em que as ligas solidifiquem.

Um dos maiores problemas na fundição do alumínio e suas ligas é a alta solubilidade do hidrogênio no alumínio líquido (através do vapor d'água contido no ar) e praticamente nula com o alumínio sólido, ocasionando a formação de bolhas o que, obviamente é indesejável. Os demais gases têm solubilidade no Al líquido muito pequenas.

Uma regra estabelecida era que a adição de estrôncio aumentava a quantidade de hidrogênio dissolvida no metal. Estudos recentes feitos por EMADI e GRUZLESKI⁷ demonstraram que este fato é um mito e que adição de Sr não aumenta a quantidade de hidrogênio absorvida no metal.

Em relação ao sódio, não se dispõe de tantos dados experimentais porém quando a adição se dá através de Na metálico, há uma forte reação exotérmica e conseqüentemente uma grande agitação no banho o que aumenta a incorporação de ar. Portanto as operações de degaseificação não sofrem nenhuma influência devido a adição dos modificadores.

Entretanto é importante o efeito dos modificadores na distribuição das porosidades. É sabido que quando um metal solidifica há uma contração volumétrica formando áreas vazias dentro da peça que pode ser grande (chupagem ou vazio) ou muito pequenas e distribuídas por toda a peça (microvazios ou microchupagem); e que há várias técnicas a fim de se evitar esses defeitos (principalmente em relação a chupagem, já que algumas vezes é possível "conviver" com microchupagem) como a adoção de massalotes, resfriadores, fundição sob pressão, etc.

Segundo GRUZLESKI e CLOSSET ¹⁰ tanto o sódio como o estrôncio distribuem a porosidade por toda a peça, ou seja, eles substituem um grande vazio, por um grande número de pequenos vazios dispersos ao longo de toda a peça. Este fato pode ser útil ou não, dependendo da utilização que se queira dar ao produto fundido:

- Quando não se deseja propriedades mecânicas elevadas, ou a peça tenha pequena responsabilidade é vantajoso tirar partido da distribuição homogênea destas pequenos vazios, já que o aspecto macroscópico do fundido melhora muito ;

- Quando a peça têm grande responsabilidade e exige elevadas propriedades mecânicas, este efeito é extremamente deletério e deve ser eliminado, basicamente, pelos processos já conhecidos.

Procedimento Experimental

O procedimento experimental consistiu de analisar o efeito dos diversos agentes modificadores: sódio, estrôncio e duas misturas sódio e estrôncio. A tabela 4 traz quantidades nominais dos modificadores usados.

modificador	quantidade usada
Na (na forma de fluxo)	30 g de fluxo/Kg da liga
Sr	0.01% em peso da liga
(Na + Sr) I	Na: 10 g de Fluxo/Kg da liga Sr: 0.01% em peso da liga
(Na + Sr) II	Na: 10 g de fluxo/Kg da liga Sr: 0.005% em peso da liga

Tabela 4 .Quantidades dos modificadores usados

O fluxo usado foi NaOH para a modificação com sódio e uma mistura (em peso) de 33% NaCl + 67% NaF para as misturas. O Sr foi adicionado na forma de Al 15% Si 10% Sr. A comparação é feita entre a modificação feita por Na e Sr e uma mistura de ambos de modo a verificar se existe o efeito sinérgico e por fim uma mistura onde o Na permanece constante e o Sr é baixado à metade, sendo o resultado é satisfatório poder-se-ia reduzir a quantidade de Sr na sucata recirculante o que, como foi visto é interessante.

As peças foram fundidas em areia para evitar o efeito da modificação por resfriamento, as peças tinham formato cilíndrico de raio 15 mm por 150 mm de altura (aproximadamente).

O tratamento de desgaseificação foi feito utilizando-se gás argônio, borbulhando o mesmo através de uma lança refratária (para não contaminar o banho) no fundo do cadinho com uma vazão média (superdimensionada) de 2 l/min.

A medição de temperatura foi feita através de termopar em contato direto com o banho líquido, este termopar estava

ligado a um analisador digital, foi tomada a temperatura sempre quando necessário.

A análise metalográfica foi feita retirando-se uma amostra da parte central da peça (com o *cut-off*) que posteriormente foi lixada com lixa de grana 180, 240, 320, 400 e 600 posteriormente polida em politriz com abrasivo de 6, 3 e 1 micra.

Os tempos de tratamento, temperatura de adição e temperatura de vazamento foram determinados de acordo com os dados disponíveis para cada agente modificador usado. A tabela 5 traz esses dados.

Modificador	Tempo de Tratamento(min)	Temperatura de adição (°C)	Temperatura de vazamento (°C)
Na	10	850	750
Sr	40	900	750
(Na+Sr) I	20	900	750
(Na+Sr) II	30	870	750

Tabela 5: Dados operacionais

Os equipamentos usados foram:

- forno de indução Inductoterm;
- cadinho de grafita;
- termopar;
- moldes de areia aglomerada com resina de cura a frio;
- lança e cilindro de Argônio
- serras e *cut-off*;
- lixadeiras e politrizes;
- microscópio marca CARL-ZEISS.Neophot 30

A seqüência dos trabalhos experimentais é mostrada no fluxograma da figura 6.

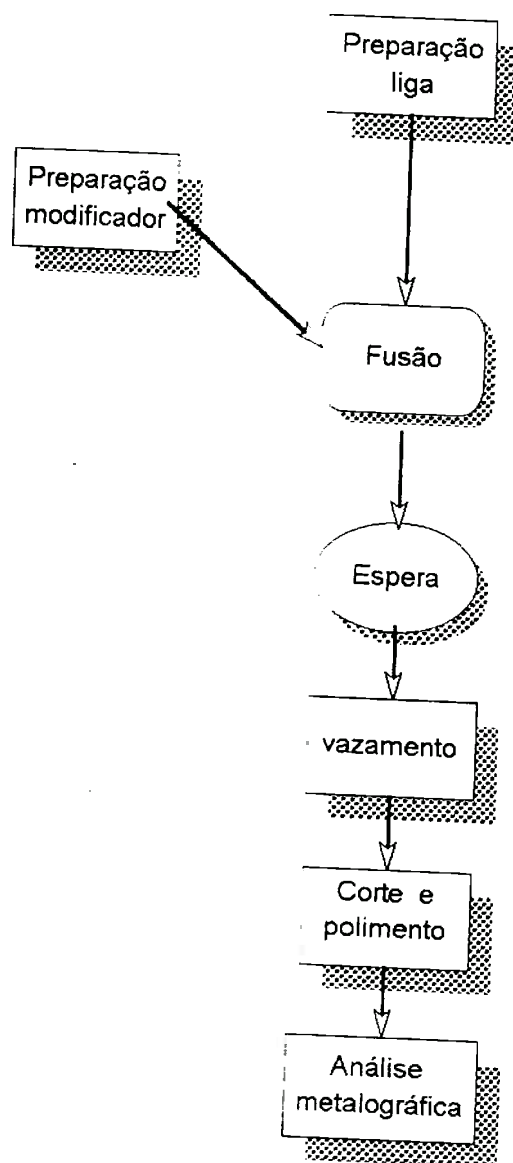


Figura 6. Fluxograma das etapas do trabalho experimental.

Resultados e Discussão

As figuras 7 e 8 mostram as micrografias da liga não-modificada, nela estão indicadas as fases presentes: alfa pró-eutético e o eutético (formado por alfa e beta) percebe-se a morfologia da fase beta (do silício) a qual se apresenta na forma de plaquetas.

As figuras de 9 a 16 mostram, respectivamente, as micrografias das estruturas modificadas com Sódio, Estrôncio e as misturas (Na + Sr) I e (Na + Sr) II no estado bruto de fundição. Nota-se que a morfologia da fase beta é fibrosa, o que melhora muito as propriedades mecânicas, já que a fase beta é frágil e concentradora de tensões e sendo o eutético a fase contínua, a influência deletéria da fase beta é, então, reduzida.

O gráfico 5 nos dá o grau de modificação da microestrutura em função de cada agente modificador usado, este gráfico foi **feito a partir da comparação entre a escala de modificação contida no anexo I e as figuras 7 a 16**, que inclusive estão no mesmo aumento usado na escala (200X e 800X).

As figuras 17 e 18 mostram as porosidades distribuídas ao longo da peça, esses defeitos surgiram em todas as amostras e, devido ao tratamento de degaseificação que elimina a hipótese de bolhas de hidrogênio, conclui-se que são devidos à contração volumétrica do metal líquido quando solidifica.

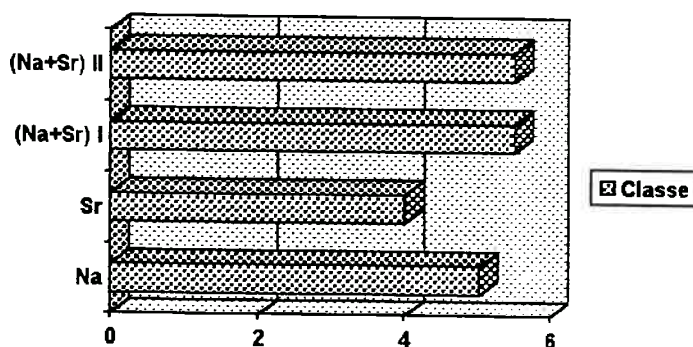


Gráfico 5: classe de modificação das amostras



Figura 7: microestrutura da liga A-319 não-modificada indicando as fases presentes (200x)

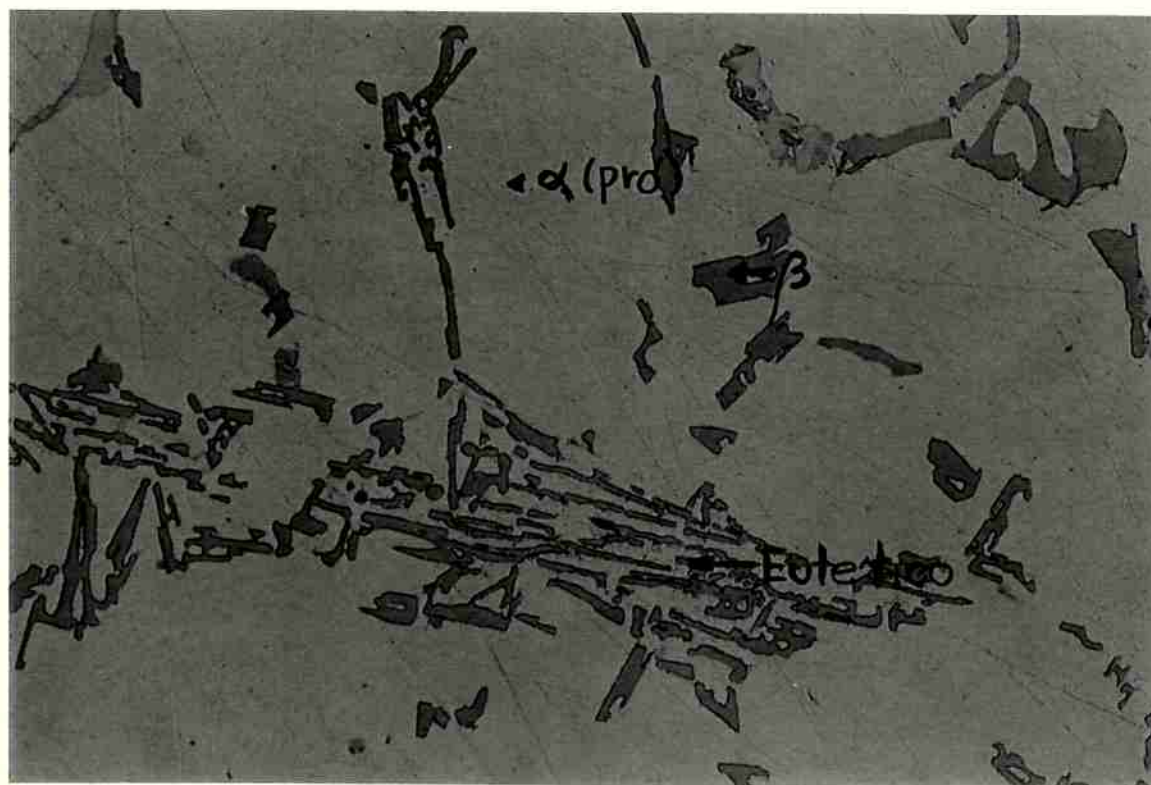


Figura 8: microestrutura da liga A-319 não-modificada, indicando as fases presentes (800x)

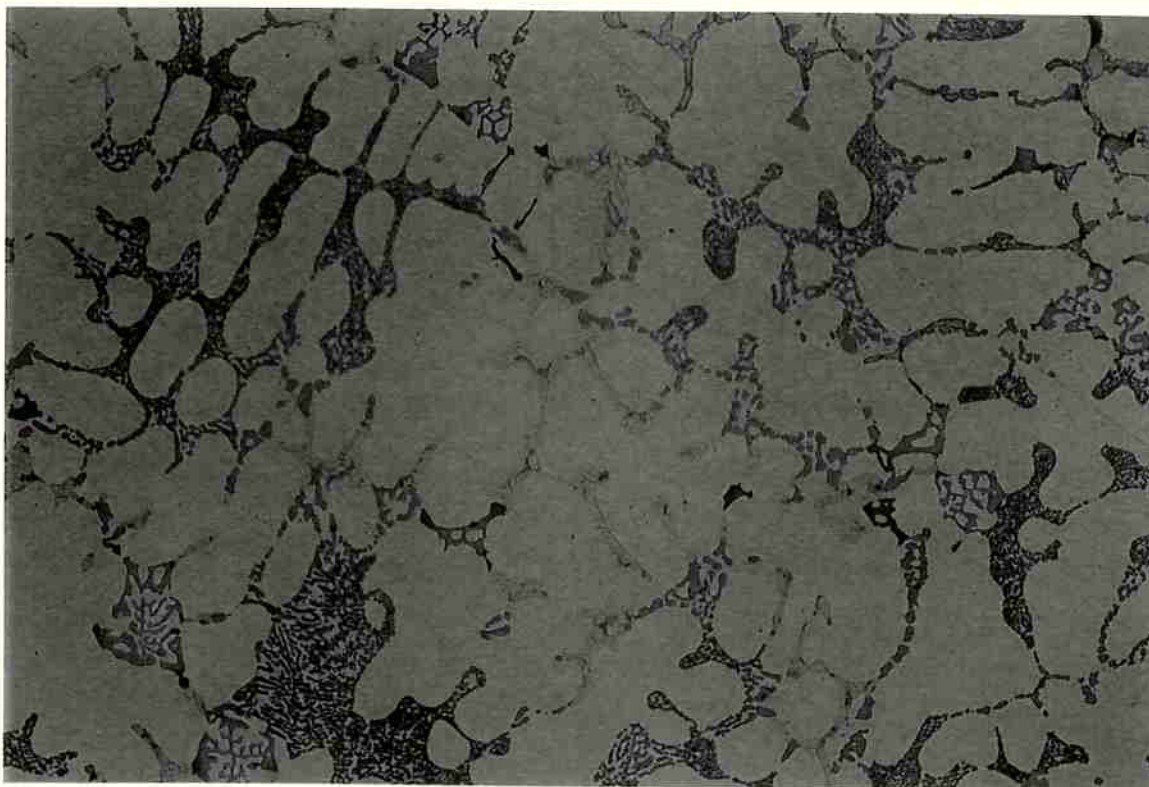


Figura 9: microestrutura da liga A-319 modificada com Sódio (200x)

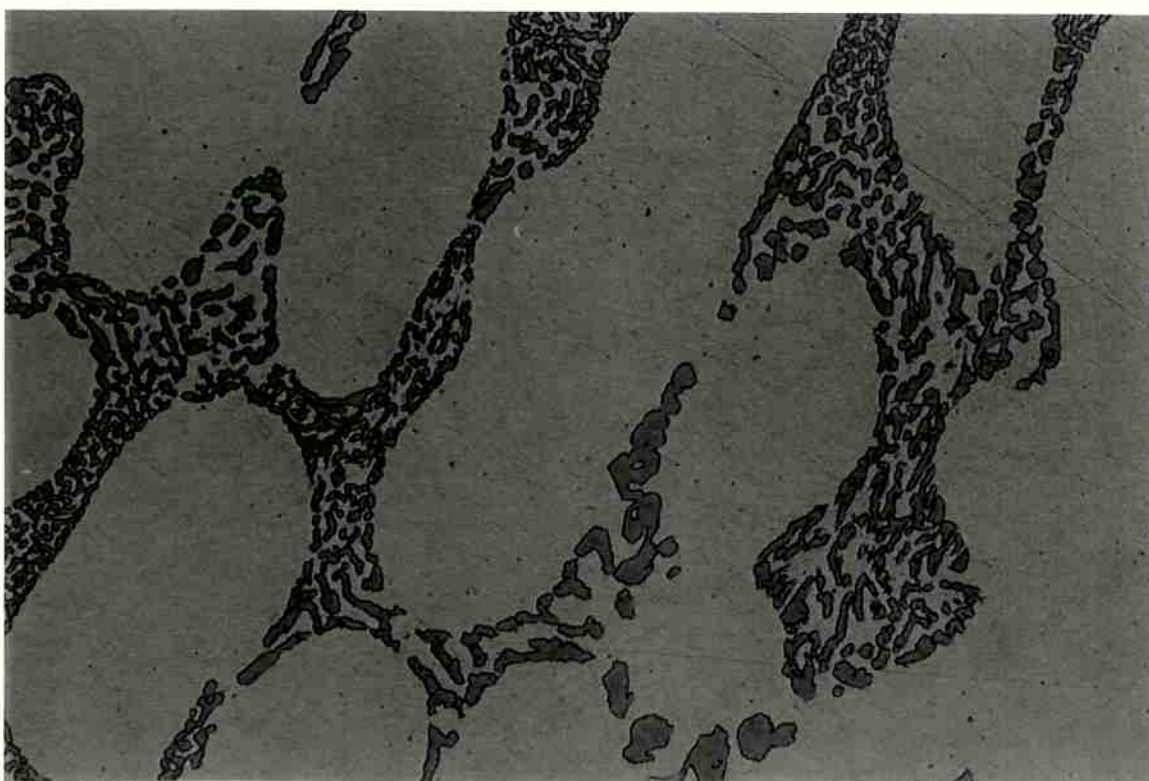


Figura 10: microestrutura da liga A-319 modificada com Sódio (800x)

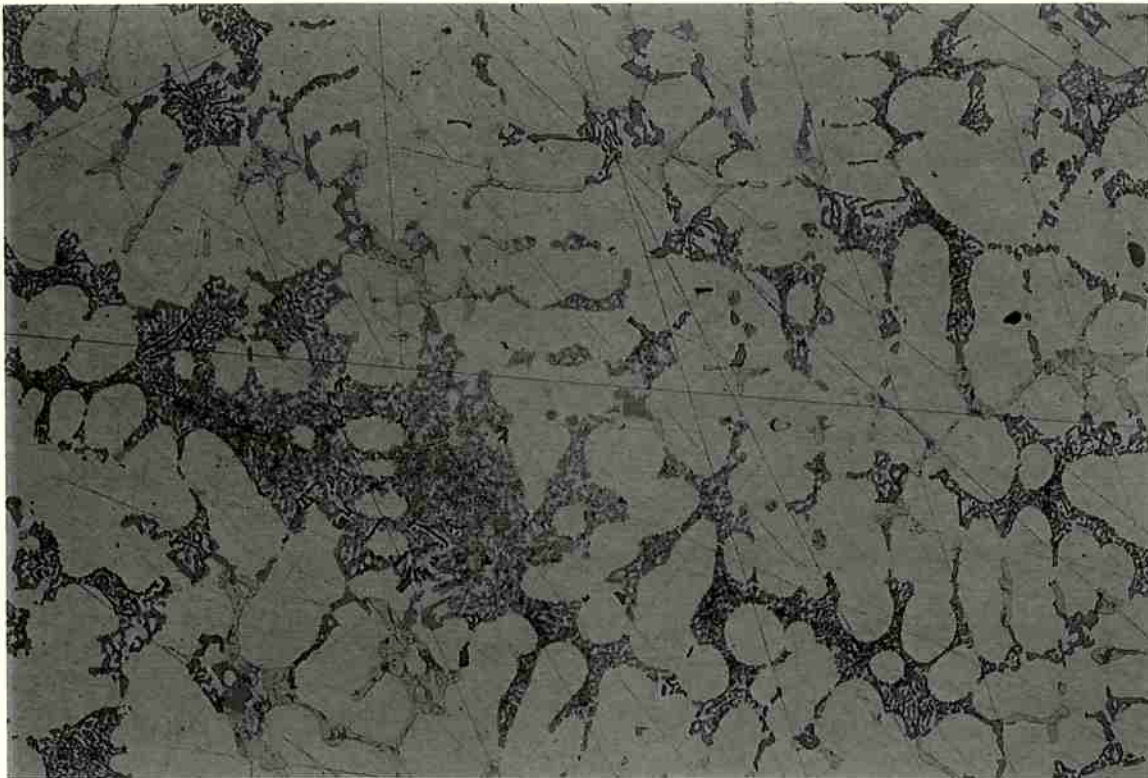


Figura 11: microestrutura da liga A-319 modificada com Estrôncio (200x)

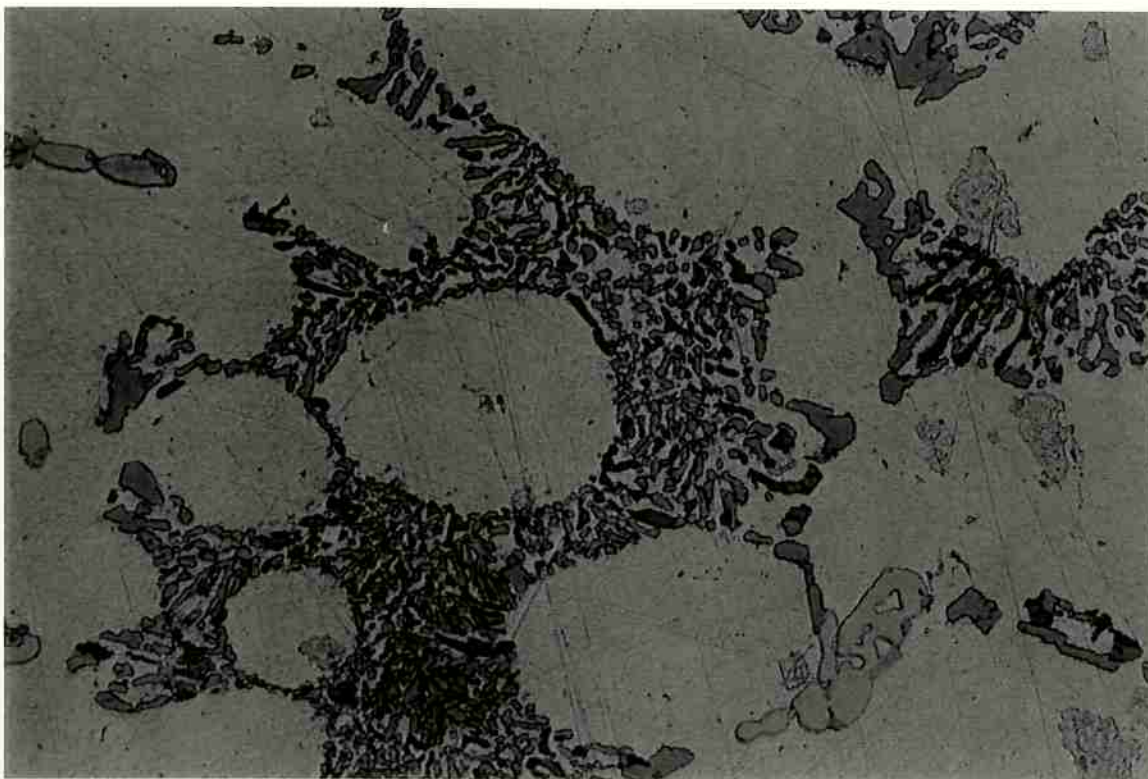


Figura 12: Microestrutura da liga A-319 modificada com Estrôncio (800x)

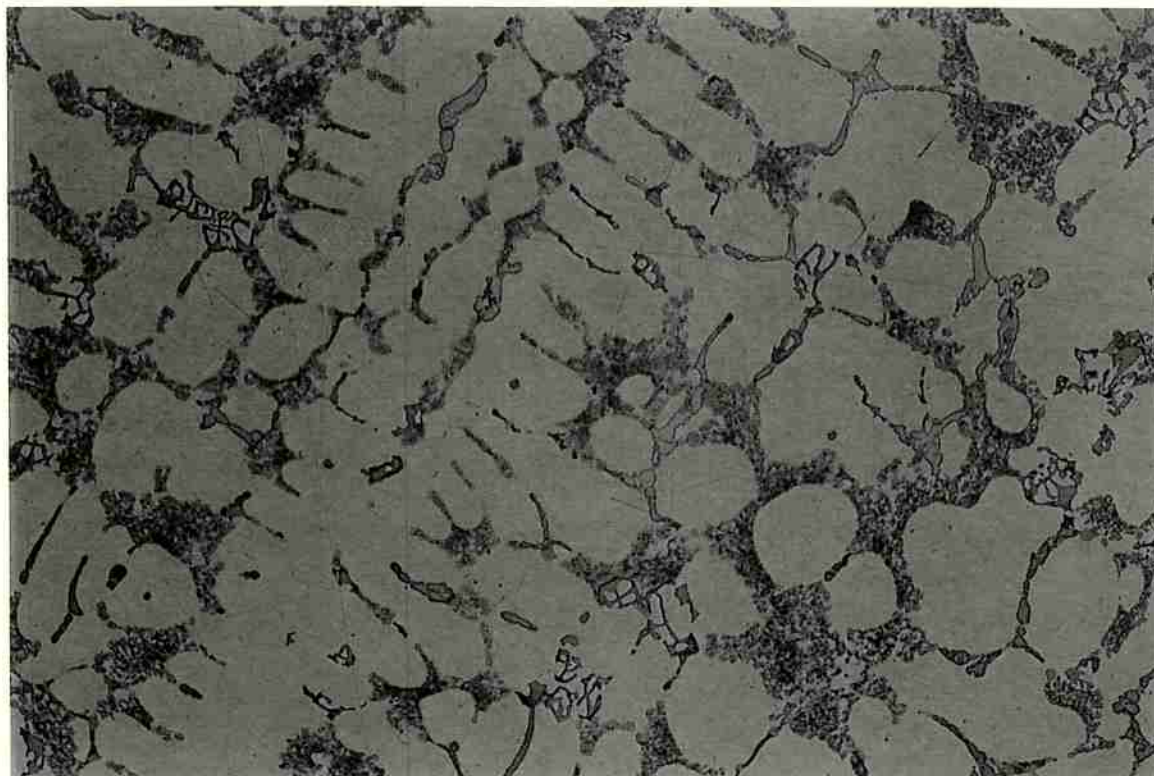


Figura 13: microestrutura da liga A-319 modificada com a mistura (Sódio+ Estrôncio) I (200x)

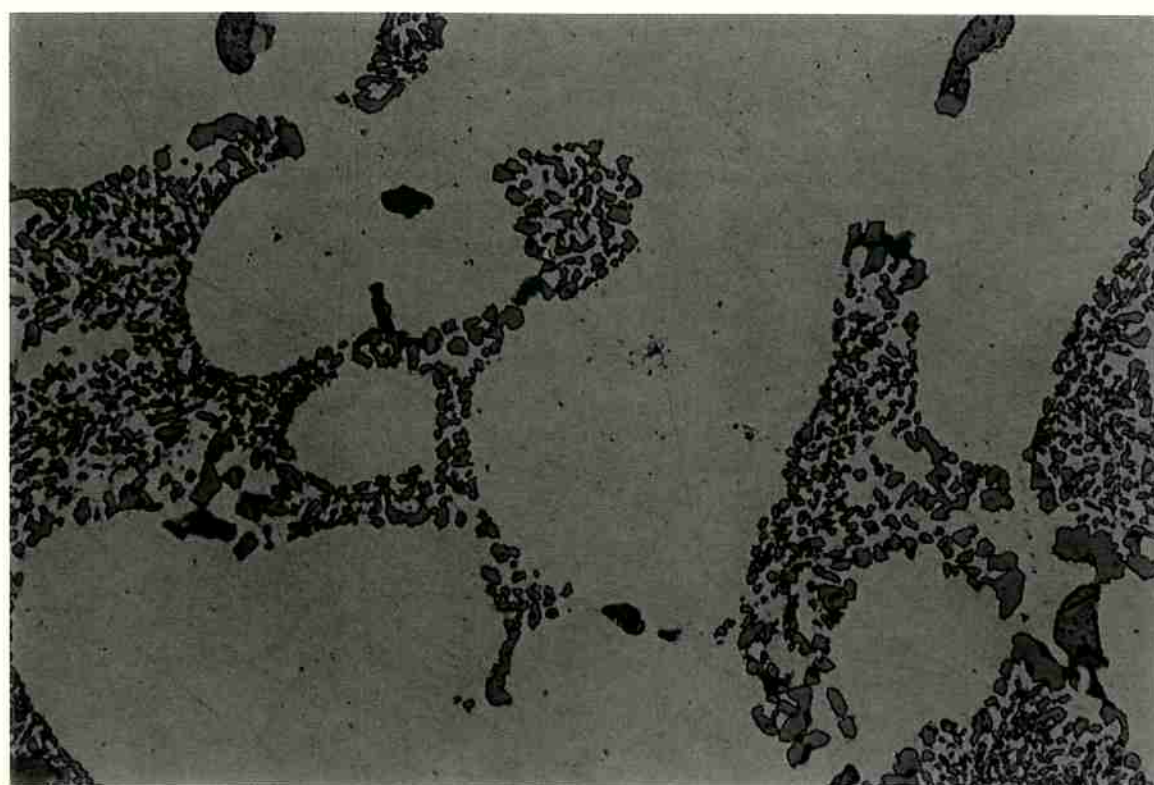


Figura14: Microestrutura da liga A-319 modificada com a mistura (Sódio + Estrôncio) I (800x)

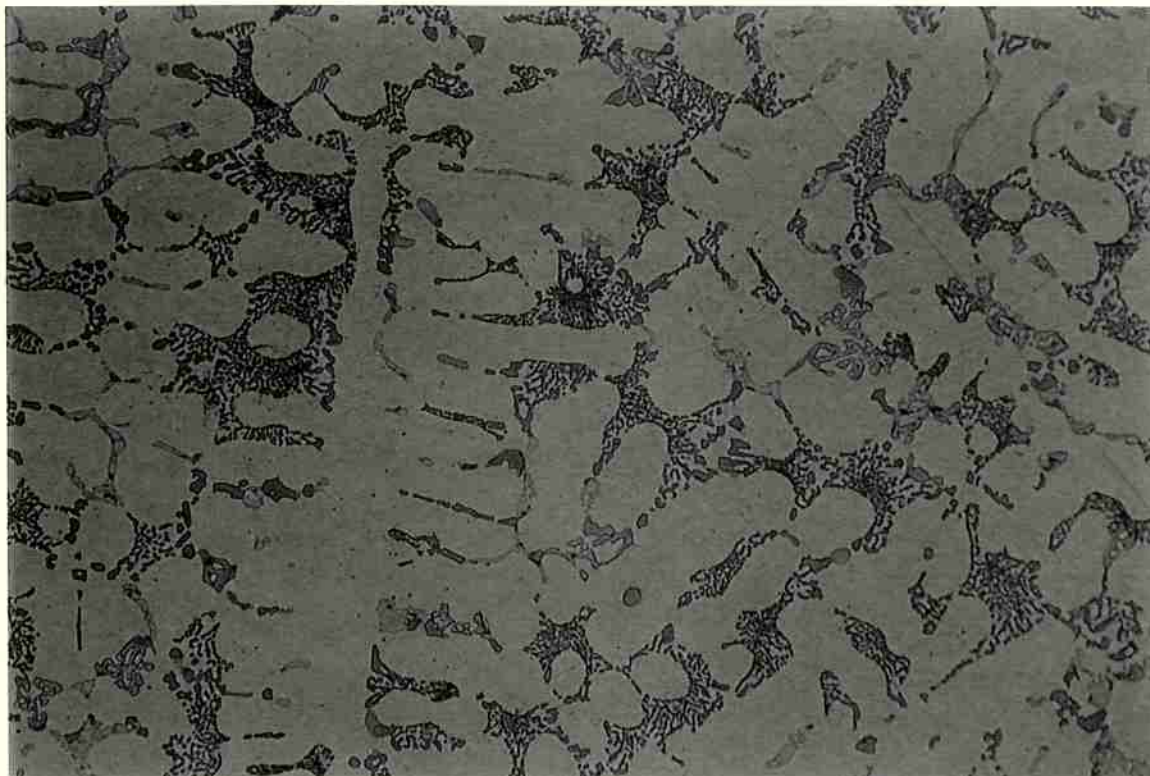


Figura 15: microestrutura da liga A-319 modificada com a mistura (sódio + Estrôncio) II (200x)



Figura 16: Microestrutura da liga A-319 modificada com a mistura (Sódio + Estrôncio) II (800x)

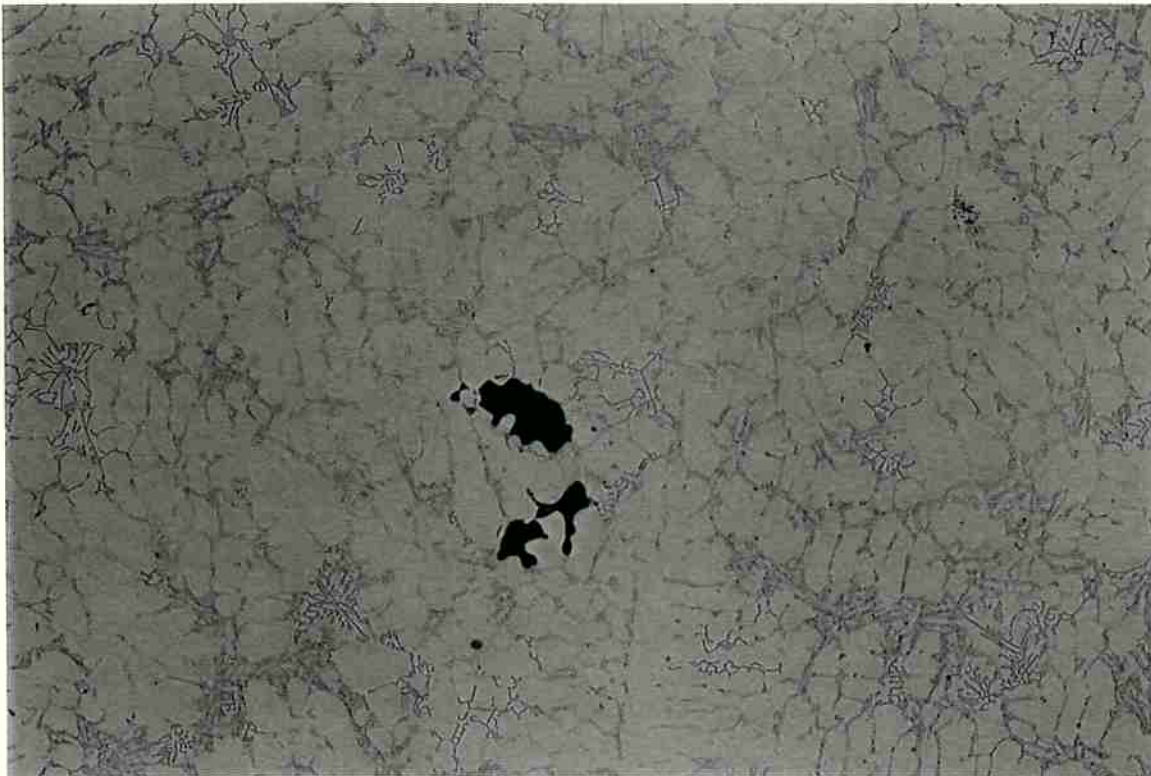


Figura 17: microestrutura da liga A-319 não-modificada evidenciando as porosidades (100x)

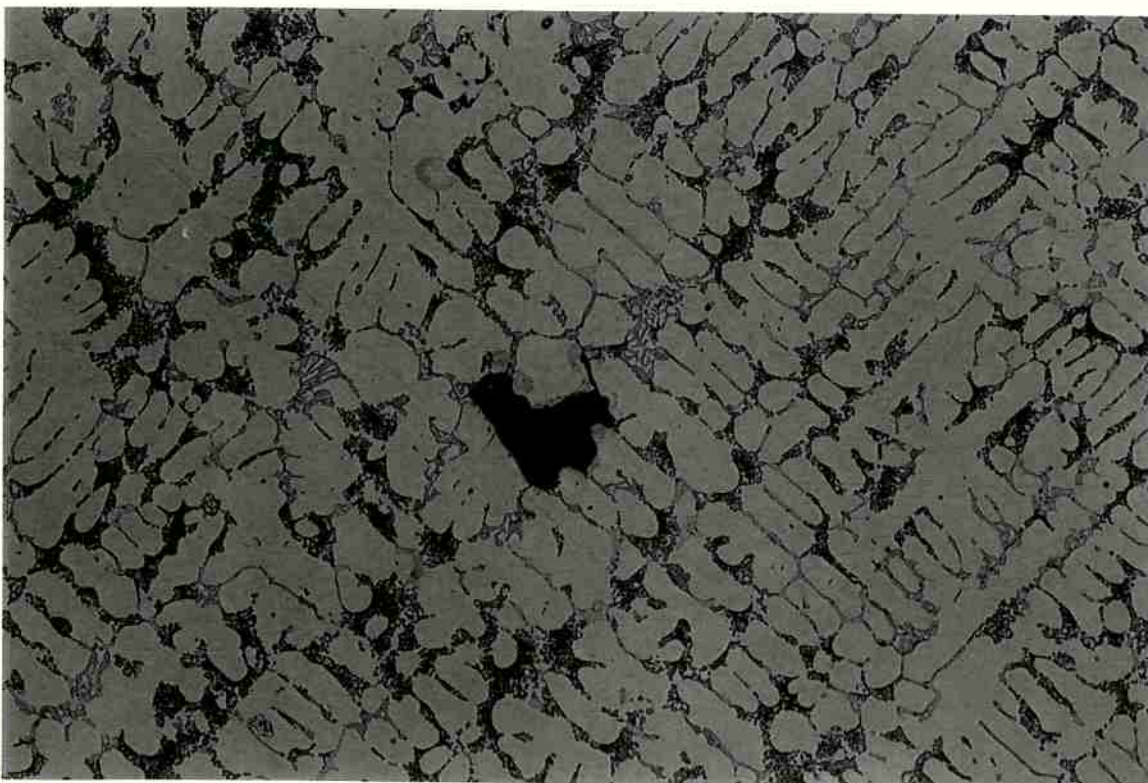


Figura18: Microestrutura da liga A-319 modificada com a mistura (Sódio + Estrôncio) | evidenciando os poros (800x)

Conclusão

As principais conclusões do trabalho foram:

A ação conjunta dos modificadores se mostrou efetiva produzindo estruturas bem modificadas;

Os corpos de prova não apresentaram um único vazio e sim pequenas porosidades distribuídas por toda a peça

O Sódio têm efeito bastante pronunciado no início mas a sua concentração cai rapidamente enquanto que o Estrôncio demora para se diluir mas seu efeito é mais duradouro.

As misturas Sr+Na são interessantes já que produzem estruturas bem modificadas, havendo o efeito sinérgico do Na + Sr na mistura I e uma estrutura bem modificada utilizando-se uma quantidade menor de Sr.

Referências Bibliográficas

- (1) FRIED, Krupp AG Hoesch-Krupp. **Technische Mitteilungen Krupp (ing)**, Essen, December 1995
- (2) DREWES, Ernst Jürgen et al. Potential for light weight car-body construction using steel. **Technische Mitteilungen Krupp**, Essen, p.25-32, April 1994.
- (3) ADVANCED MATERIALS & PROCESSES. Automotive Materials Engineering. Material Park : ASM International, v. 143, n. 6, jun 1993.
- (4) ASM International. Automotive Materials at the SAE Show. **Advanced Materials & Processes**. Material Park : ASM International, p.22-28, jun 1995.
- (5) ASM International. Materials Selection. **Advanced Materials & Processes**. Material Park : ASM International, p.19-22, jul 1995.
- (6) MONTE, Marisa B. M; ADAMIAN, Rupen. Panorama do mercado mundial de alumínio: perspectivas e oportunidades para o metal e suas ligas. **Metallurgia e Materiais**, São Paulo, v. 51, n.443, p. 600-610, jul. 1995.
- (7) EMADI, Daryoush; GRUZLESKI, John E. Combating Al-Si Porosity: the Strontium/Hydrogen Myth. **Modern Casting**, p. 46-47, mar 1995.
- (8) GROTEKE, Daniel E. Improving Your Spectrometric Analysis of Aluminum. **Modern Casting**, p. 36-38, sep 1994.
- (9) KANICKI, David P. Changing Casting Demands Shape Ford's Nem foundry. **Modern Casting**, p. 24-27, sep 1994.
- (10) GRUZLESKI, John E.; CLOSSET, Bernard M. **The Treatment of Liquid Aluminum-Silicon Alloys**. Des Plaines : American Foundrymen's Society, 1990.
- (11) BRADASCHIA, Clóvis (Coord.). **Fundição de Ligas de Alumínio**. São Paulo : Associação Brasileira de Metais, 1993.
- (12) FUOCO, Ricardo et al. Comparação entre a Modificação com Estrôncio eo Refino com Antimônio em Ligas

de Alumínio A 356. In: **CONAF 91: congresso nacional de fundição**. São Paulo: ABIFA associação brasileira de fundição, 1991. p. 12.58-12.65.

(13) BUSK, Robert. Magnesium Alloys. In: VASUDEVAN, A. K.; DOHERTY, R. D.(Ed.). **Aluminum Alloys - Contemporary Research and Applications**. San Diego : Academic Press, 1989. p. 663-679.

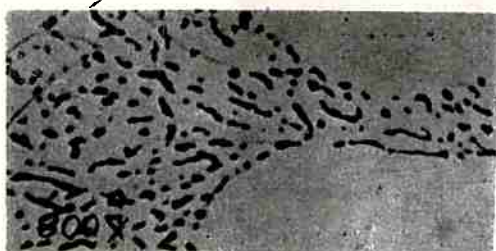
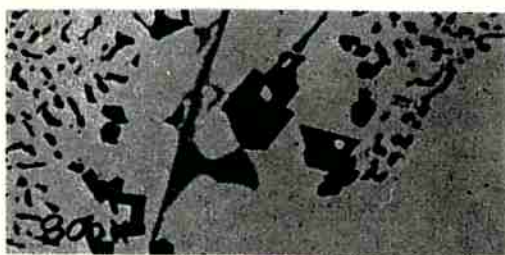
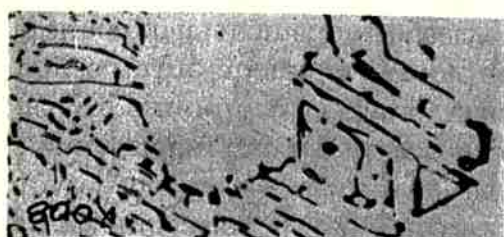
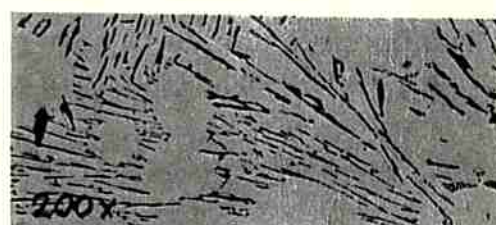
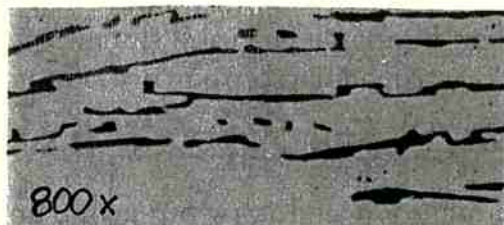
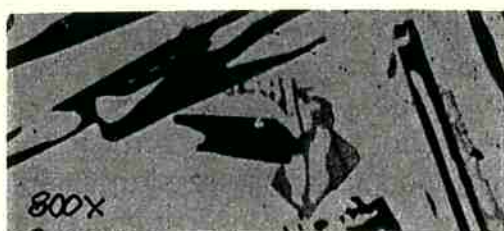
(14) DURHAM, D. R.; DUNN, E. (Ed.). **Technology for Premium Quality Castings**. Warrendale: The Metallurgical Society, 1987. p. 81-105.

(15) YANK, R.; Aluminum recycling in the 90s. In: BOUCHARD, Michel; TREMBLAY (editors) , Pierre. **Production, Refining, Fabrication and Recycling of Light Metals**. Ontario, 26-30,1990 : Pergamon Press, 1990. p. 307-310.

(16) FUOCO, Ricardo. et al. Processos de fabricação e defeitos típicos em rodas fundidas de alumínio. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO (ABAL). **V Seminário de Tecnologia da Indústria do Alumínio**. São Paulo, 29-31, 1995: ABAL, 1995 p. 533-548.

(17) ASM International. **Aluminum and Aluminum Alloys**. Metals Park,1993.

Anexo I Escala de modificação



Do alto para baixo: Classe 1: Não modificada; Classe 2: Estruturas lamelares; Classe 3: Modificação parcial; Classe 4: ausência de estruturas lamelares; Classe 5 Estrutura fibrosa; Classe 6: Estrutura muito fina . Fonte (10 p.40-41)