



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

FELIPE ANDERSON BANDEIRA MEDEIROS

CARACTERIZAÇÃO DE UMA LIGA ALUMÍNIO (98%) – COBRE (2%)

CARAÚBAS

2019

FELIPE ANDERSON BANDEIRA MEDEIROS

CARACTERIZAÇÃO DE UMA LIGA ALUMÍNIO (98%) – COBRE (2%)

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Rafael Bezerra Azevedo Mendes

CARAÚBAS

2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M488c Medeiros, Felipe Anderson Bandeira.

Caracterização de uma liga Al (98%) - A / Felipe Anderson Bandeira Medeiros. - 2019.

42 f.: il.

Orientador: Rafael Bezerra Azevedo Mendes. Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Curso de --Selecione um Curso ou Programa--, 2019.

1. Fundição. 2. Microdureza. 3. Tração. I. Mendes, Rafael Bezerra Azevedo, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

FELIPE ANDERSON BANDEIRA MEDEIROS

CARACTERIZAÇÃO DE UMA LIGA ALUMÍNIO (98%) – COBRE (2%)

Trabalho de conclusão de curso apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 12 / 08 / 2018.

BANCA EXAMINADORA


Rafael Bezerra Azevedo Mendes (UFERSA), Prof. Me.
Presidente


Carlos Cássio de Alcântara, Eng. Me.
Membro Examinador


Raul César Silva de Medeiros, Eng.
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por sempre me dar forças nos momentos difíceis, por iluminar caminhos que, por ser misericordioso e nunca falhar com as pessoas que nele acreditam. Por apesar das barreiras, sempre servir como propulsor para um avanço cada vez maior.

Agradeço aos meus pais, Antónia Maciana Bandeira e Edivan Marcelino da Silva, que são meus motivadores de onde tiro toda força e sabedoria para prosseguir na caminhada. Agradeço por toda sabedoria repassada, acolhimento e incentivo. Agradeço aos meus irmãos, Gabriel Marcelino Bandeira da Silva e Maria Gabrielly Marcelino Bandeira da Silva, por sempre me repassarem um sentimento de confiança e incentivo, agradeço por todo amor e carinho. Agradeço também a toda minha família, que de forma direta ou indireta contribuíram para que este trabalho fosse concluído.

Agradeço ao meu Orientador Prof. Me Rafael Bezerra Azevedo Mendes por todo conhecimento repassado, pela paciência, dedicação e força de vontade para contribuir da melhor forma possível.

Por fim, agradeço a todos os meus amigos que me encorajaram a me manter firme na caminhada, em especial a: Maize Melo, Diego Aquino, Glória Maria, Rafaela Jordânia, Géssica Moura, Ianna Dantas, Rosemary Coringa, Alisson Campos, Júnior Avelino. Muito obrigado, meus amigos, por sempre me ajudarem com palavras e gestos que me estabilizaram e me direcionaram a melhor versão que eu poderia ser. Agradeço também a Engrenagem, bem como todo os seus membros, por serem uma família com quem posso dialogar e compartilhar frustrações, realizações, esclarecer dúvidas e pedir conselhos.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho de conclusão de curso, a minha Mãe Antônia Maciana Bandeira que durante toda a vida foi minha mãe e meu pai, além de ser meu alicerce durante toda a caminhada, pois nunca deixou de me incentivar a nunca desistir.

Se você consegue sonhar algo, consegue realizá-lo!
Walt Disney

RESUMO

O alumínio tem sido extensivamente utilizado devido a sua boa relação e variedade de custo e benefícios, além de ser um metal extremamente reciclável. Fatores esses que levam a muitos estudos, que visam otimizar suas propriedades mecânicas a partir de seu processamento. Um desses estudos é a adição do cobre no metal alumínio fazendo assim uma nova liga. Na sua grande maioria é sempre possível obtermos uma microestrutura mais definida, mas os pontos de porosidade foram bastante visíveis sem mesmo com o microscópio era possível notá-los. O objetivo deste trabalho é avaliar as propriedades de dureza e resistência a tração da liga Al (98%) – Cu (2%), nas composições de acréscimo de 200 (duzentas) gramas de cobre no alumínio. O vazamento foi realizado a 1200°C em molde tipo caixa de areia, o cadinho de aço inoxidável foi pré-aquecido em 500°C, com posterior tratamento térmico de têmpera. O molde tipo caixa de areia foi posicionado em uma base plana para que não houvesse nenhuma interferência no final da peça. Foram realizados ensaios de tração de acordo com a norma ASTM E8/E8M, 2019; ensaios de microdureza HV e metalografia. Com relação a dureza, ligas com maiores teores de Cu maiores valores de dureza. Para o ensaio de tração com liga Al-Cu, obtendo assim um valor de ruptura média de 71.15 para 6 horas, 124.58 para 12 horas e 146,58 para 18 horas e com uma ductilidade com alongamento de 1.75 % para 6 horas, 2.50 para 12 horas e 3.00 para 18 horas.

Palavras-chave: Fundição; Microdureza; Tração.

ABSTRACT

Aluminum has been extensively used due to its good value and range of cost and benefits, and is an extremely recyclable metal. These factors lead to many studies that aim to optimize their mechanical properties from their processing. One such study is the addition of copper to the aluminum metal thus making a new alloy. For the most part it is always possible to obtain a more defined microstructure, but the porosity points were quite visible without even the microscope it was possible to notice them. The objective of this work is to evaluate the hardness and tensile strength properties of Al (98%) - Cu (2%) alloys in the addition of 200 (two hundred) grams of copper in aluminum. The casting was carried out at 1200 ° C in a sandbox mold, the stainless steel crucible was preheated to 500 ° C, with subsequent heat treatment of quenching. The sandbox mold was positioned on a flat base so that there was no interference at the end of the part. Tensile tests were performed according to ASTM E8 / E8M, 2019; HV microhardness tests and metallography. Regarding the hardness, alloys with higher Cu contents higher hardness values. For the Al-Cu alloy tensile test, this gives an average breaking value of 71.15 for 6 hours, 124.58 for 12 hours and 146.58 for 18 hours and with a ductility of 1.75% for 6 hours, 2.50 for 12 hours and 3.00 to 18 hours.

Keywords: Foundry; Microhardness; Traction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Diagrama de Fase Alumínio-Cobre	18
Figura 2	– Fases de elementos de liga	21
Figura 3	– Crescimento dendrítico de um metal.....	22
Figura 4	– Estrutura Microscópica do alumínio depois da têmpera.....	23
Figura 5	– Sistema de análise de têmpera e recozimento.....	24
Figura 6	– Curva de Carga versus Alongamento	25
Figura 7	– Fluxograma da Metodologia	26
Figura 8	– Molde de isopor	27
Figura 9	– Caixa de madeira para fixação do molde de isopor	27
Figura 10	– Material usinado e recozido á 6 horas	28
Figura 11	– Material usinado e recozido á 12 horas	28
Figura 12	– Material usinado e recozido á 18 horas	30
Figura 13	– Desenho do esboço do corpo de prova	30
Figura 14	– Material usinado nas dimensões padrão.....	31
Figura 15	– Amostra de 6 horas depois da microdureza	32
Figura 16	– Amostra de 12 horas depois da microdureza	32
Figura 17	– Amostra de 18 horas depois da microdureza	33
Figura 18	– Microdurômetro.....	33
Figura 19	– Máquina Universal de Ensaio Mecânicos.....	34
Figura 20	– Corpos rompidos logo após o ensaio de tração.....	36
Figura 21	– Corpos rompidos logo após o ensaio de tração.....	36
Figura 22	– Corpos rompidos logo após o ensaio de tração.....	37
Figura 23	– Gráfico de microdureza da liga fundida	38
Figura 24	– Microestrutura da lida de 6 horas de recozimento.....	39
Figura 25	– Microestrutura da lida de 6 horas de recozimento	39
Figura 26	– Microestrutura da lida de 6 horas de recozimento	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Resultado do Ensaio de Tração nos Corpos de Prova.....	36
Tabela 2	–	Resultado do Desvio Padrão e Média do Ensaio de Tração.....	37
Tabela 3	–	Resultados médios e desvio padrão do ensaio de microdureza.....	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1. OBJETIVO GERAL.....	16
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1. ALUMÍNIO	16
2.2. COBRE.....	17
2.3. LIGAS METÁLICAS	18
2.4. LIGAS ALUMÍNIO-COBRE.....	19
2.5. FUNDIÇÃO.....	21
2.6. SOLIFICAÇÃO DOS METAIS.....	21
2.7. TÊMPERA.....	23
2.8. RECOZIMENTO	23
2.9. ENSAIOS MECÂNICOS	24
2.9.1. ENSAIO DE TRAÇÃO	24
2.9.2. ENSAIO DE MICRODUREZA	25
2.10. PROPRIEDADE DOS MATERIAIS.....	26
3. METODOLOGIA	26
3.1. PROCESSAMENTO DA LIGA.....	27
3.2. CORPOS DE PROVA PARA O ENSAIO DE TRAÇÃO	30
3.3. CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL E MECÂNICA.....	31
3.3.1. MICRODUREZA VICKERS.....	31
3.4. ENSAIO DE TRAÇÃO.....	34
4. RESULTADOS E DISCURSSÕES	34
4.1. ENSAIO DE TRAÇÃO.....	34
4.2. ENSAIO DE MICRODUREZA.....	37
4.3. MICROESTRUTURA DA LIGA AL-CU	38

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	41

1. INTRODUÇÃO

A história do desenvolvimento da fundição de metais evidencia que a descoberta da metalurgia foi fundamental para a evolução humana. Admite-se que o homem teve o primeiro contato com o metal a cerca de 8000 anos atrás, ainda em plena idade neolítica (idade da pedra polida), algum tempo depois de ter desenvolvido as mais primitivas formas de agricultura, de ter domesticado alguns animais e ter aprendido a confeccionar potes de argila cozida. Quando o homem aprendeu a dominar o fogo e aprimorou a maneira de fazer potes de argila cozida, passou a ter em suas mãos dois elementos fundamentais para a fundição de metais: o calor para "derretê-los" e o vasilhame para contê-los durante a fusão e o vazamento (Simpson,1969).

A história da fundição é realmente fascinante, ela mostra que, desde as idades mais remotas, o homem dependeu dela para satisfazer suas necessidades, quer sejam as artísticas, quer aquelas relacionadas com as atividades guerreiras e comerciais; o que não difere dos dias atuais, mas agora o instinto e a tentativa e erro cederam lugar ao conhecimento mais racional. Para Vannoccio Biringuccio, considerado o pai da indústria da Fundição e autor do primeiro trabalho sobre o assunto, *De La Pirotecbinia* (1540), a fundição vem a ser "a redução dos metais à sua última perfeição".

Quando as propriedades do alumínio estão em perfeita combinação, torna-o um dos materiais mais versáteis na engenharia e em outras áreas como a construção. Mesmo apresentando uma baixa massa específica, algumas ligas têm a sua resistência superior à de um aço estrutural. Devido a sua alta resistência à corrosão na maioria das condições trabalho as ligas de alumínio têm aumentando continuamente sua utilização, em alguns casos substituindo-se o aço quando baixo peso ou custo de manutenção forem os principais fatores a serem considerados (ABAL, 2007).

Em relação a propriedades mecânicas, existe uma necessidade de estes materiais apresentem boa resistência a tração, quando aplicadas a determinados carregamentos, bem como tem-se também a necessidade de um custo razoável. Segundo *Asm Handbook*, 1998, para um projeto de uso do material ser mais seguro, é importante conhecer e quantificar os fatores que influenciam a resistência a tração do material que vai ser utilizado.

A capacidade de realizar uma caracterização em uma nova liga originada da fusão de Alumínio e Cobre (Al-Cu), com uma porcentagem de Cobre adicionada ao alumínio, possibilitará a realização da confirmação e modificação das propriedades mecânica. Tal liga foi escolhida devido a sua importância no mercado consumidor, assim analisar as propriedades de resistência mecânica a tração e dureza dessas ligas, de acordo com a porcentagem de cobre adicionada ao alumínio, serão realizados os ensaios de metalografia e tração.

1.1. OBJETIVO GERAL

Obter e avaliar as propriedades mecânicas de dureza e resistência a tração da liga Al (98%) – Cu (2%) em diferentes recozimentos.

1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Desenvolver uma liga Al (98%) – Cu (2%)
- Avaliar as propriedades mecânicas das Ligas Al (98%) – Cu (2%)
- Analisar comparativamente as variações das propriedades de microdureza da liga Al (98%) – Cu (2%)

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção encontra-se o referencial teórico utilizado como base para o desenvolvimento do presente trabalho.

2.1. ALUMÍNIO

A descoberta do alumínio data de 6.000 A.C. com a fabricação de potes e recipientes de argila, feita pelos Persas com um tipo de barro que continha óxido de alumínio, hoje conhecida por alumina. Por volta de 3.000 A.C. esta mesma argila com alumina foi utilizada na fabricação de cosméticos, medicamentos e corantes feitos para tecidos feitos pelos egípcios e babilônicos.

Descobriu-se, porém, ao final do século XIX, que embora o alumínio fosse metal encontrado em abundância na crosta terrestre, para separá-lo das rochas era extremamente difícil e este detalhe tornou o alumínio por um tempo, o metal mais valioso que o ouro. Atualmente na indústria moderna, o alumínio provou ser muito significativo através do aumento de seu consumo devido as suas características físico-químicas – material atóxico,

resistente e maleável, sendo utilizado como matéria-prima nas indústrias de automobilismo e de construção civil.

Segundo a Companhia Brasileira de Alumínio – CBA (2007), o alumínio foi introduzido no Brasil com grande sucesso junto aos fabricantes de carrocerias de ônibus, furgões, tanques rodoviários, vagões ferroviários e bicicletas. Essa excelente aceitação deve-se, principalmente, às características do metal: peso específico três vezes menor que o do aço, permite a diminuição da emissão de poluentes, amplia a capacidade de carga, reduz o custo do transporte e aumenta a vida útil do veículo.

Pelo fato de o alumínio ser atóxico, resistente e maleável, torna-se um material ideal para acondicionar alimentos, produtos de higiene e beleza e, ainda, medicamentos sensíveis à luz, à água e ao calor. Por ser inquebrável é bastante seguro para o consumidor, além de gerar economia de eletricidade por gelar muito rápido. Além disso, o alumínio é muito mais leve que o vidro, não enferruja e quando utilizado para acondicionar bebidas tais como cerveja e refrigerante, mantém seu sabor inalterado. A lata de alumínio é 100% e infinitamente reciclável, o que diminui os danos ao meio ambiente e, portanto, amplamente utilizada pelas indústrias de bebidas.

2.2. COBRE

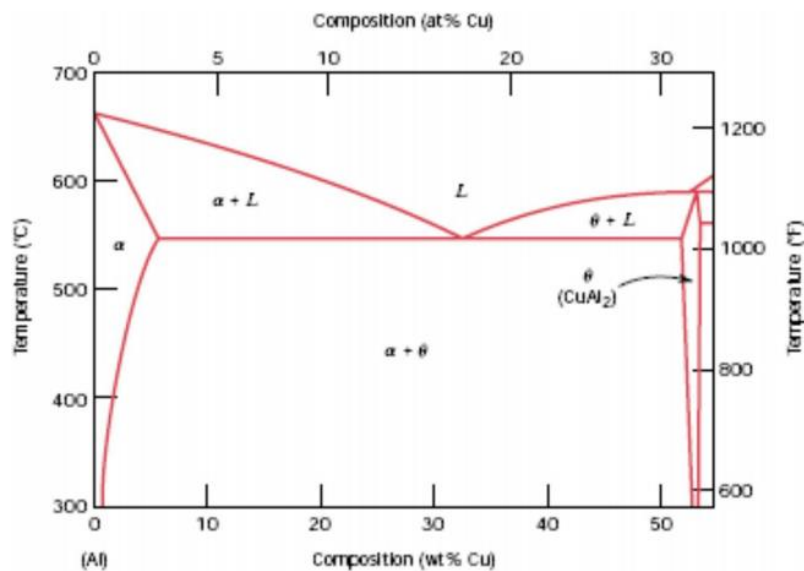
O nome cobre deriva do termo “aes cyprium” - minério de Chypre (Chipre) -, mais tarde conhecido como “cuprum”, palavra latina que deu origem ao símbolo químico Cu. O cobre é um dos metais mais antigos da civilização mundial, datando seus primeiros usos desde 8.000 anos A.C. Sua importância na história marcou uma época denominada “Idade do Bronze”, liga formada de cobre e estanho. O domínio de posse e tecnologia do cobre representava nos povos da antiguidade a riqueza e o poder. Durante a Idade Média o cobre continuou a ter seu grau de importância. Na atualidade, o cobre mantém sua relevância para o homem, graças às suas características que lhe conferem diversidade de aplicações no desenvolvimento tecnológico industrial (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, 2000).

A definição de termos e classificação de tipos de cobre e ligas de cobre. Considera-se como cobre o metal que contenha 99,85 % ou mais do elemento cobre, ou no mínimo 97,5 % em massa de cobre. O cobre em estado puro, denominado cobre nativo, raramente é encontrado na natureza. Normalmente está associado a outros elementos químicos em várias formas estruturais, proporções estequiométricas e combinações químicas, formando diversos minerais. Existem dois grupos de minerais: os primários ou sulfetados, ocorrentes em zonas

mais profundas da crosta terrestre, com mais alto teor em cobre, e os oxidados ou secundários, de origem mais superficial, de menor teor em cobre. Entre esses grupos são conhecidas cerca de 170 espécies minerais, das quais apenas algumas apresentam importância econômica (ABNT, 2000).

A Figura 1 a seguir mostra a relação entre alumínio e cobre através de um diagrama de fase.

Figura 1: Diagrama de Fase Alumínio-Cobre



Fonte: Callister (2012)

2.3. LIGAS METÁLICAS

É notório perceber que o desenvolvimento e o avanço da humanidade desde os primórdios vêm atrelado às habilidades dos seus integrantes de manipular ferramentas para satisfazer suas necessidades.

Segundo Salluste (1971), os primeiros povos tinham uma pequena quantidade de materiais distintos disponíveis, tendo como destaque os materiais encontrados na natureza, tais como pedra, argila, pele de animais entre outros.

Os primeiros relatos históricos da utilização do cobre datam-se na época de transição do período Paleolítico para o Neolítico, no qual o homem deixou de ser um indivíduo nômade e passou a ser sedentário, ou seja, o homem deixou de mudar de localização periodicamente e passou a fixar-se em determinadas regiões. O cobre foi um dos fatores primordiais para que

essa fixação tenha tornando-se possível, visto que esse elemento acabou substituindo a pedra na fabricação de ferramentas, armas, recipientes e utensílios de extrema importância.

Inicialmente a utilização do cobre e alumínio era restrita apenas ao estado sólido, visto que o ponto de fusão dos mesmos são em torno de 1083°C e 660,3°C, respectivamente, e a fusão de tais materiais tornou-se possível apenas com a invenção das fornalhas. Com o tempo o homem descobriu que as propriedades de um material podem ser alteradas por meio de tratamentos térmicos e pela adição de outras substâncias. Com isso foi possível a fundição de cobre unido a outros metais, obtendo as ligas metálicas à base de cobre com o intuito de melhorar algumas características como resistência mecânica, ductilidade, estabilidade térmica, tenacidade e dureza (ALVES QUEIROGA, 2010).

2.4. LIGAS ALUMÍNIO-COBRE

Ligas de Al-Cu são muito utilizadas na fundição, por possuírem baixa viscosidade; baixo ponto de fusão; altas taxas de transferência de calor; bom acabamento superficial. A adição de cobre em sua composição aumenta seus valores de resistência mecânica e possui máxima solubilidade no alumínio de 5,65% (AMERICAN SOCIETY FOR METALS, 1990). Isto ocorre, pois, o cobre quando em excesso precipita em forma de partículas duras, como o intermetálico CuAl_2 , gerando uma microestrutura mais rígida, logo, com maiores valores de dureza (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ALUMÍNIO, 2011).

As ligas de Al-Cu são denominadas ligas da série 200. O cobre se apresenta como principal elemento de liga, este tipo de liga necessita de tratamento térmico para melhorar suas propriedades mecânicas. Além disso as ligas da série 200 são suscetíveis a formação de microporosidades (AMERICAN SOCIETY FOR METALS, 1990).

Segundo Thethewey (1998), as ligas do sistema Al-Cu, conhecidas como ligas da série 2XXX (trabalhadas) e 2XX.X (fundidas) na classificação da Aluminum Association, são as ligas de alumínio de desenvolvimento mais antigo, sendo que o seu surgimento data do início do século XX, quando Alfred Wilm, na Alemanha, descobriu o fenômeno de endurecimento por precipitação.

Essas ligas até hoje são conhecidas como duralumínio, e entre essas ligas a 2017 é a mais antiga e também a mais conhecida. É uma liga que contém 4 % de cobre, 0,5 % de magnésio e 0,7 % de manganês, nas quais a simples introdução desses elementos de liga já eleva a resistência à tração de 9,1 kg/mm² (alumínio comercialmente puro) para 18,2 kg/mm².

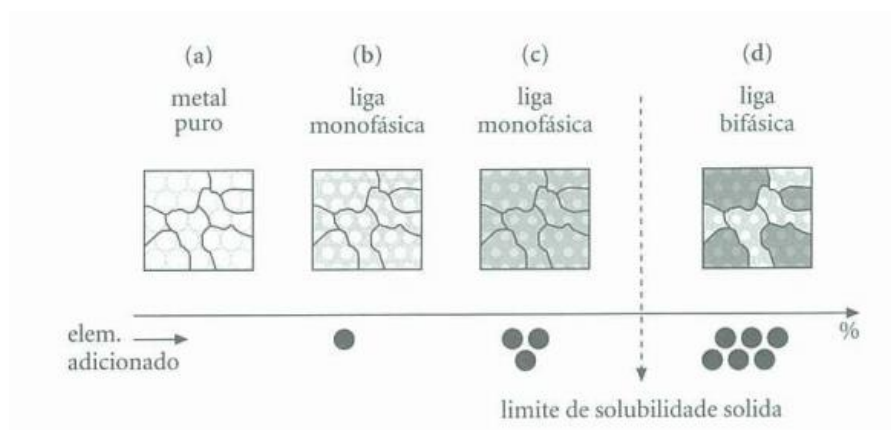
O tratamento térmico de envelhecimento (endurecimento por precipitação) por tempo e temperatura controlados ainda permite aumentar ainda mais a resistência à tração, para cerca de 43 kg/mm^2 , as ligas podem ainda ser subdividido em dois grupos principais: as ligas Al-Cu com teores de magnésio relativamente baixos, como a 2017 mencionada e outras como a 2025 e a 2219, e as ligas Al-Cu com tores de magnésio relativamente altos (também denominadas Al-Cu-Mg), superiores a 1%, como a 2024 (1,5 % de magnésio) e a 2618 (1,6 % de Mg) (RENNÓ, 1987).

A Principal diferença entre esses dois subgrupos é que nas ligas Al-Cu só contribuem para o endurecimento por precipitação as fases precursoras da fase (Al_2Cu), ao passo que nas ligas Al-Cu-Mg é igualmente importante a contribuição da fase S', precursora da fase S (Al_2CuMg) (HATCH, 1984).

As ligas Al-Cu(-Mg) podem apresentar diferentes tipos de elementos de liga, adicionados com diversas finalidades, os quais podem levar à formação de diversas fases diferentes. A liga 2024, por exemplo, possui manganês em teores relativamente altos, que causa a formação da fase $\text{Al}_{12}(\text{Fe},\text{Mn})_3\text{Si}$, presente também em outras ligas, que sob a forma de partículas dispersóides retardam os processos de recristalização e crescimento de grão.

RENNÓ (1987), conclui dizendo que, de um modo geral as ligas Al-Cu(-Mg) apresentam elevada resistência mecânica após tratamento térmico de endurecimento por precipitação, entretanto, apesar dessa vantagem, apresentam algumas desvantagens quando comparadas com outros tipos de ligas de alumínio, que vão desde a resistência à corrosão relativamente baixa e a conformabilidade limitada (são pouco adequadas a processos com elevada deformação, como a extrusão, por exemplo) até a soldabilidade igualmente restrita (em geral são soldadas somente por processos de resistência elétrica). Os valores mais elevados de dureza são obtidos para teores de cobre da ordem de 4 a 6% , dependendo da influência de outros elementos de ligas presentes (HATCH, 1984).

A Figura 2, nos mostra a formação de novas fases pela introdução de elementos de liga.

Figura 2: Fases de elementos de liga**Fonte: Rennó (1987)**

2.5. FUNDIÇÃO

De acordo com Monticelli (1994) o processo de fundição consiste na fabricação de peças metálicas por meio do preenchimento, com metal líquido, de um molde cuja cavidade apresenta dimensões similares às da peça que se deseja produzir. Porém uma definição mais técnica e atual para fundição consiste na preparação, fusão e refino de insumos metálicos, seu vazamento em moldes (por gravidade, pressão, centrifugação ou vácuo) e na limpeza e acabamento das peças brutas assim obtidas.

Segundo Soares (2000) a escolha do processo de fundição é fundamental na definição do grau de precisão dimensional, do acabamento e das propriedades mecânicas da peça que se pretende fabricar. O material do molde é um importante variável do processo. Por exemplo, a taxa de dissipação do calor varia de acordo com esse material, o que determina o tamanho final do grão formado, que, por sua vez, influencia a resistência mecânica do fundido. As peças resultantes podem passar por um processo de acabamento, como a usinagem ou o forjamento.

2.6. SOLIFICAÇÃO DOS METAIS

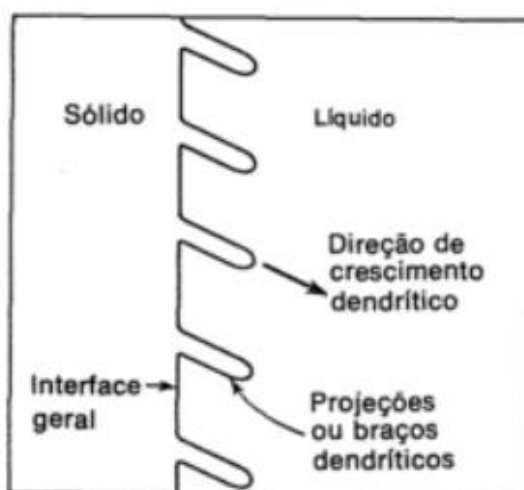
A partir do momento em que o material fundido é vazado em um molde uma série de eventos começam a ocorrer, sendo estes eventos os responsáveis por determinar quais as características microestruturais os materiais irão apresentar. Estas características fornecem as propriedades dos materiais. Os pontos mais significativos para essa caracterização do material são o molde; propriedades térmicas do molde e do material fundido; relação de volume e área superficial; além do formato do molde (KALPAKJIAN, SHIMID, 2009).

Todo material fundido, seja ele puro ou ligado, possui uma linha líquida e uma linha sólida, estas linhas determinam a temperatura em que o material está totalmente líquido e totalmente sólido. Entre estas duas linhas, temos uma variação de temperatura a qual estão presentes fases sólidas e líquidas. A linha líquido fica a uma temperatura acima da linha sólido. Quando a temperatura do material fundido diminui até a temperatura da linha líquida ocorre o início da solidificação do metal, que estará completa quando a temperatura atravessar a linha sólido do material (OHNO, 1988).

A zona em que as fases líquidas e sólidas coexistem é chamada de mushy zone ou zona pastosa. A solidificação se inicia nas paredes do molde, os quais, mesmo que pré-aquecidos, normalmente possuem uma temperatura mais baixa que o material fundido, gerando uma maior taxa de transferência de calor (KALPAKJIAN, SHIMID, 2009). Esta diferença entre a taxa de transferência de calor do molde e do material fundido, faz com que a transferência de calor ocorra das paredes do molde para o interior do fundido (REED-HILL, 1973). Quando a temperatura vai diminuindo, ramos cristalinos vão se formando, os quais são chamados de dendritas colunares ou apenas dendritas. Entre estas dendritas há a presença de líquido (KALPAKJIAN, SHIMID, 2009).

A Figura 3, mostra uma representação esquemática do crescimento dendrítico de um metal.

Figura 3: Crescimento dendrítico de um metal



Fonte: REED-HILL (1973)

O crescimento dendrítico é tridimensional, formando ramificações secundárias e terciárias, semelhantes a ramos de árvores. Seu estudo é muito importante pois ele influencia

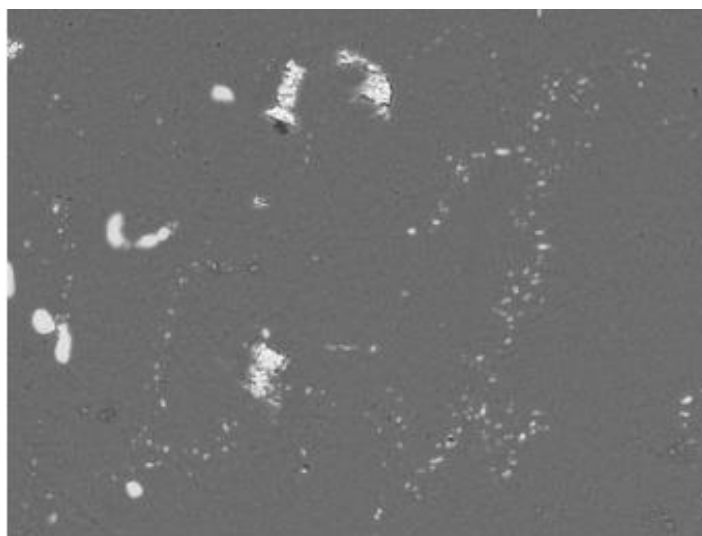
nas variações de composição, segregação e formação de microporosidades (KALPAKJIAN, SHIMID, 2009). A quebra dos braços dendríticos favorece o aumento de número de grãos no fundido, pois esta fragmentação forma núcleos adicionais no material. Este processo faz com que haja um refino do grão na microestrutura. Outro fator que favorece o aumento da nucleação é o aumento da taxa de resfriamento do material (REED-HILL, 1973).

2.7. TÊMPERA

Ao temperar, um material é aquecido abaixo de sua temperatura crítica. Este processo de aquecimento aumenta a ductilidade e a dureza de um material. No entanto, uma vez que a ductilidade e a força são inversamente relacionadas, o temperar geralmente reduz a força. Essa perda de força é aceitável porque o material resultante geralmente é ainda mais forte do que é necessário. Temperamento aumenta a ductilidade e a dureza, minimiza a fissuração e aumenta a capacidade de trabalho. No entanto, também diminui a dureza (INDUSTRIAL MECHANICS, 2019).

A figura 4, ilustra a estrutura microscópica de um material depois da têmpera.

Figura 4: Estrutura Microscópica do alumínio depois da têmpera



Fonte: CAVALCANTE & SILVA (2016)

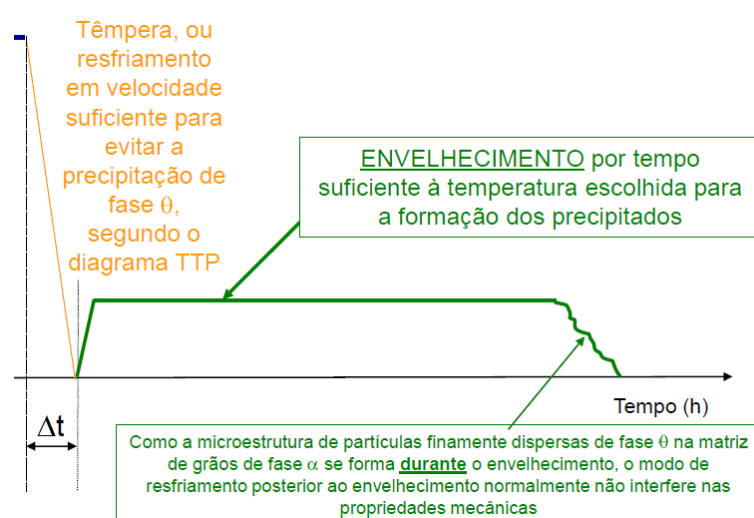
2.8. RECOZIMENTO

Tratamento térmico realizado com o fim de alcançar um ou vários dos seguintes objetivos: remover tensões devidas aos tratamentos mecânicos a frio ou a quente, diminuir a dureza para melhorar a usinabilidade do material, alterar as propriedades mecânicas como resistência, ductilidade etc., modificar os característicos elétricos e magnéticos, ajustar o

tamanho de grão, regularizar a textura bruta de fusão, remover gases, produzir uma microestrutura definida, eliminar enfim os efeitos de quaisquer tratamentos térmicos ou mecânicos a que o material tiver sido anteriormente submetido (VICENTE CHIAVERINI, 2012).

A figura 5, mostra um sistema de análise de tempera e recozimento de uma liga de alumínio.

Figura 5: Sistema de análise de tempera e recozimento



Fonte: Barbieri 2010

2.9. ENSAIOS MECÂNICOS

Quando se deseja iniciar um projeto mecânico, é interessante saber as propriedades mecânicas dos materiais irá trabalhar, dessa forma podendo a existir uma boa variedade de opções na escolha do material com seus limites e finalidades.

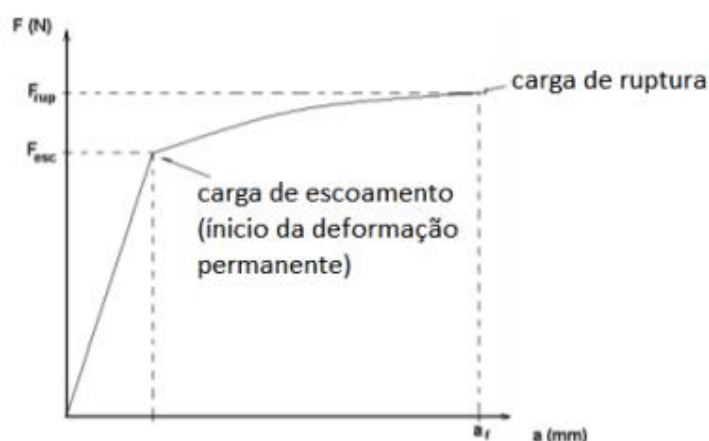
2.9.1. ENSAIO DE TRAÇÃO

Uma carga estática ou que varia lentamente ao longo do tempo, é aplicada uniformemente em uma seção transversal ou sobre a superfície do material, pode-se ter conhecimento das propriedades do material através de um ensaio tensão-deformação. Esse ensaio pode ser realizado através de três tipos diferentes de esforços: tração, compressão ou cisalhamento (CALLISTER, 2012).

Os materiais metálicos apresentam inicialmente um comportamento elástico quando estão sob efeito de cargas de tração crescentes. Na região elástica ocorre alongamento do corpo de prova de tração (cdp) e, sendo retirada a carga, o cdp retoma suas dimensões originais. Se a carga de tração exceder a um determinado limite (limite elástico ou de escoamento), o cdp começa a deformar permanentemente (comportamento plástico), não recuperando mais as suas dimensões originais se a carga for retirada. Em muitos metais este ponto não é bem definido e convencionou-se adotar um percentual de alongamento para a sua determinação.

Na Figura 6 está ilustrada a curva carga x alongamento ($F \times a$) de um material metálico ensaiado à tração.

Figura 6: Curva de Carga versus Alongamento



Fonte: Bayer (2013)

2.9.2. ENSAIO DE MICRODUREZA

Segundo Callister (2012), dureza é uma medida de resistência de um material a uma deformação plástica localizada (um risco ou uma pequena impressão).

Para Bayer (2013) e Callister (2012) os primeiros ensaios de dureza eram realizados de acordo com a capacidade de um material riscar outro mais macio, exemplo: o gesso (2) risca o talco (1), mas não risca quartzo (7), portanto assim constituía uma escala qualitativa onde o diamante é o material mais duro (dureza Mohs diamante = 10). Ao longo do tempo foram desenvolvidas técnicas quantitativas para determinação da dureza, que consiste em um penetrador que é forçado sobre a superfície de um material a ser testado, com condições

controladas de carga e taxa de aplicação. Quanto maior e mais profunda a impressão, menor será o número índice de dureza e mais macio será o material.

2.10. PROPRIEDADE DOS MATERIAIS

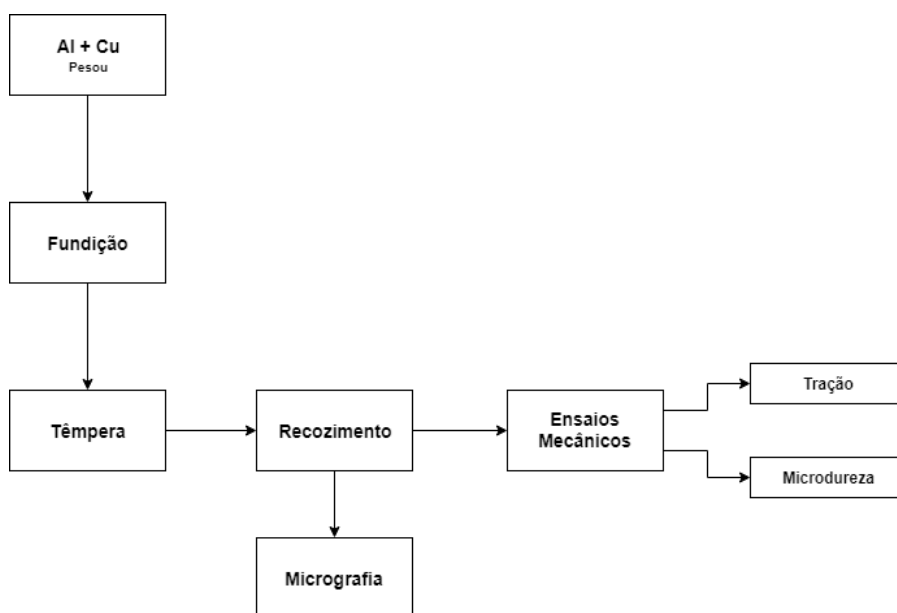
É notório perceber que muitos materiais, quando em serviço, estão sujeitos a várias forças e cargas atuantes, com isso é de fundamental importância conhecer as propriedades mecânicas dos materiais, para saber se aquele material vai ser realmente capaz de resistir aos esforços aplicados sem entrar em falha. As propriedades mecânicas dos materiais são obtidas por meio de ensaios em laboratório. Dentre os principais parâmetros aplicados nos ensaios pode ser destacado a carga (constante ou variada) e o tempo de aplicação, sendo que essas cargas podem ser de tração, compressão ou cisalhamento.

De acordo com Callister (2008), as propriedades dos materiais vão ser variadas de acordo com as microestruturas. Dentre as principais propriedades mecânicas dos materiais, temos: resistência à tração, elasticidade, ductilidade, fluência, fadiga, dureza, tenacidade, entre diversas outras.

3. METODOLOGIA

Nesta seção será descrito os materiais que foram utilizados para a confecção da liga Al-Cu. Assim como os métodos utilizados para a realização das análises e da caracterização da liga.

A Figura 7, mostra de forma resumida os passos que foram seguidos para a realização do presente trabalho.

Figura 7: Fluxograma da Metodologia

Fonte: Autoria Própria (2019)

3.1. PROCESSAMENTO DA LIGA

A liga foi fundida na Universidade Federal Rural do Semi-Árido no Campus de Caraúbas, em um forno mufla de laboratório. A temperatura selecionada para a fundição do material foi de 1200 °C, por que todo material fundido, seja ele puro ou ligado, possui uma linha liquida e uma linha solida, estas linhas determinam a temperatura em que o material será fundido, assim para se chegar a essa temperatura estável foi necessário cerca de 4 (quatro) horas, após chegar a temperatura necessária para a fundição adicionou-se os materiais no forno (alumínio e o cobre). Após a fundição dos elementos, o cadinho ficou cerca de 10 minutos para se estabilizar e começar o processo de difusão do cobre no alumínio.

Figura 8: Molde de isopor

Fonte: Autoria Própria (2019)

O Molde utilizado para o corpo de prova foi de isopor, o mesmo sendo moldado com as condições mostrada na figura 8 na qual sendo um corpo de prova de seção chapeada depois que usinado.

Foi utilizado uma caixa de madeira, como mostra a figura 9 onde foi peneirado areia e colocada nela, a areia foi molhada deixando-a sendo uma espécie de “molde natural” na qual serviu como apoio para o molde de isopor que foi formato do corpo de prova.

Figura 9: Caixa de madeira para fixação do molde de isopor



Fonte: Autoria Própria (2019)

Após a fundição o material foi resfriado com água corrente, logo em seguida todos os corpos de prova foram submetidos a um tratamento térmico pelo qual teve o objetivo de aumentar a resistência mecânica e a resistência ao desgaste o nome desse tratamento se chama têmpera. O material foi sujeito a uma temperatura de 180°C durante horas.

Em seguida ao tratamento térmico de têmpera, foi feito o envelhecimento do material. O envelhecimento foi dividido em três etapas, como podemos ver a seguir:

- Amostras no recozimento a 180°C a 6 horas

Figura 10: Material usinado e recozido á 6 horas



Fonte: Autoria Própria (2019)

- Amostras no recozimento a 180°C a 12 horas

Figura 11: Material usinado e recozido á 12 horas



Fonte: Autoria Própria (2019)

- Amostras no recozimento a 180°C a 18 horas

Figura 12: Material usinado e recozido á 18 horas

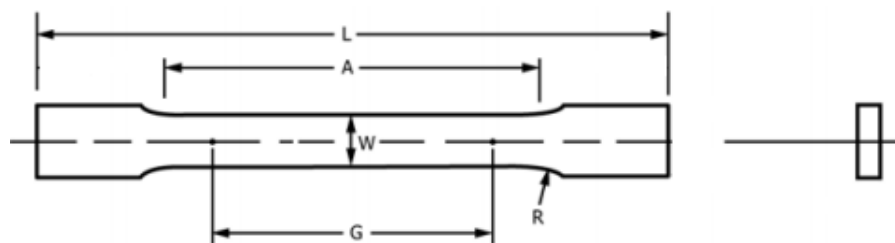


Fonte: Autoria Própria (2019)

3.2. CORPOS DE PROVA PARA O ENSAIO DE TRAÇÃO

O material grosseiro foi dividido em barras e usinadas para a confecção dos corpos de prova. Foram feitos três corpos com diferentes situações de recozimento, como foi falado no tópico anterior, para o ensaio de tração. Os corpos de prova obedeceram a norma ASTM E8/E8M – 19, que foram usinadas em forma de chapa de acordo com a Figura 13, com auxílio de um torno convencional.

Figura 13: Desenho do esboço do corpo de prova



Fonte: ASTM E8/E8M, 2019

Dimensões utilizadas: $A = 40 \text{ mm}$; $W = 35 \text{ mm}$; $G = 20 \text{ mm}$; $R = 6 \text{ mm}$ e $L = 100 \text{ mm}$

Os corpos de prova que foram devidamente usinados podem ser vistos na Figura 14.

Figura 14: Material usinado nas dimensões padrão



Fonte: Autoria Própria (2019)

3.3. CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL E MECÂNICA

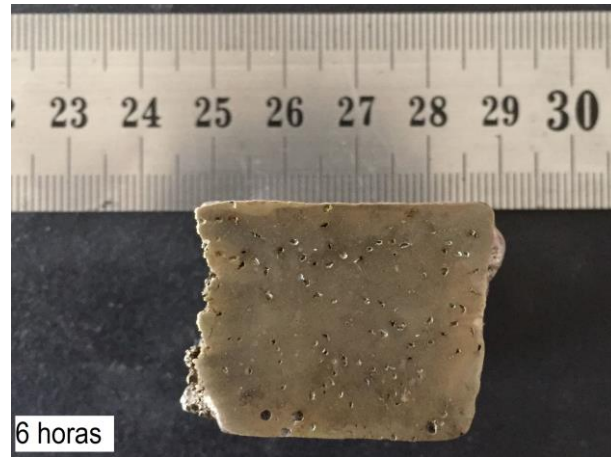
3.3.1. MICRODUREZA VICKERS

Para os ensaios de microdureza *Vickers* foram confeccionados 3 corpos de prova para cada tipo de recozimento, reduzindo as dimensões, em seguida foram lixados e polidos com lixas de granulometria na sequência #80, #180, #320, #600, #800 e #1200. Visualmente foi possível notar uma diferença importante entre as amostras, pois as mesmas mostravam quantidades e tamanhos diferentes de poros, dependendo assim da quantidade de horas que a amostra passou no recozimento no caso deste trabalho as amostras ficaram no forno 6, 12 e 18 horas.

Posteriormente foi realizado o ataque químico em todas as amostras, utilizou-se como reagente a solução de (200g de CrO_3 , 20g de sulfato de sódio, 17 mL de HCl e 1000mL de água destilada). Este reagente tem como função permitir a visualização de contornos de grão e diferenças de fase na microestrutura, permitindo também a visualização dos poros na matriz. Anteriormente a realização do ataque foi realizada a limpeza da amostra em água e sua secagem ocorreu com auxílio de secador, evitando contato de papel ou algodão na amostra. O ataque faz com que as diferentes fases da microestrutura reajam de forma diferente, permitindo melhor visualização das mesmas com a utilização de microscópio óptico (ROHDE, 2010).

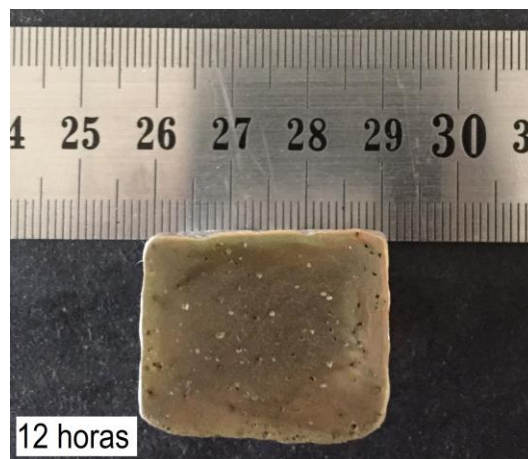
As Figuras 15,16 e 17 mostra os corpos de prova polidos e já atacado quimicamente por imersão prontos para o ensaio de microdureza *Vickers*.

Figura 15: Amostra de 6 horas depois da microdureza



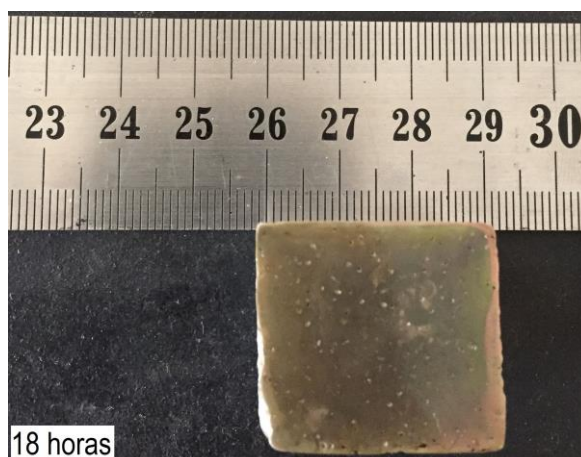
Fonte: Autoria Própria (2019)

Figura 16: Amostra de 12 horas depois da microdureza



Fonte; Autoria Própria (2019)

Figura 17: Amostra de 18 horas depois da microdureza



Fonte; Autoria Própria

Os ensaios de microdureza *Vickers* foram feitos no microdurômetro INSIZE ISH-TDV2000 da UFERSA CARAÚBAS como mostra a figura 19. Foram realizadas 20 (vinte) endentações em cada corpo de prova partindo de um lado para o outro da amostra, cada endentação foi feita em um intervalo de 1mm. Para os ensaios de microdureza, o microdurômetro foi configurado para aplicar uma carga de 0,1 kgf durante um intervalo de 15 (quinze) segundos. Em todos os casos o maior e o menor valor foram desconsiderados para então fazer o cálculo de média e desvio padrão.

Figura 18: Microdurômetro



Fonte: Autoria Própria

Foram realizadas algumas imagens microscópicas por amostra, para que fosse possível obter uma melhor visualização da microestrutura, visto que as imagens possuem pequenas dimensões.

3.4. ENSAIO DE TRAÇÃO

O ensaio de tração foi realizado na máquina de tração EMIC DL-3000N, como mostra a figura 20. Para o ensaio foram confeccionados 9 corpos de prova. Após a realização do ensaio de acordo com a norma E8/E8M – 16, foram obtido uma espécie de relatório que nos deu o necessário sobre o ensaio.

Figura 19: Máquina Universal de Ensaio Mecânicos



Fonte: <https://www.udesc.br/cefid/home>

4. RESULTADOS E DISCURSSÕES

4.1. ENSAIO DE TRAÇÃO

Os resultados do ensaio de tração dos corpos de prova ensaiados de acordo com a norma ASTM E8/E8M – 16, estão apresentados de acordo com a tabela 2, e na tabela 3 estão os dados como desvio padrão, média da tensão de ruptura e alongamento.

Tabela 1: Resultado do Ensaio de Tração nos Corpos de Prova

Corpos de prova	Seção (mm ²)	Força de Escoamento (kgf)	Força Máxima (N)	Tensão de Escoamento (Mpa)	Tensão Máxima (Mpa)	Alongamento de Ruptura (%)
C – 6 horas	36,00	381.67	4150.89	103.97	71.15	1.75
C – 12 horas	36,00	418.50	4484.99	132.57	124.58	2.50
C – 18 horas	36,00	500.56	5284.79	136.36	146.80	3,00

Fonte: Autoria Própria**Tabela 2: Resultado do Desvio Padrão e Média do Ensaio de Tração**

Corpos de prova	Tensão Máxima de Escoamento (Média)	Tensão Máxima de Escoamento (Desvio Padrão)	Alongamento (Média)	Alongamento na ruptura (Desvio Padrão)
C – 6 horas	95.62 Mpa	28.45 Mpa	2.250%	0.4330%
C – 12 horas	119.3 Mpa	11.60 Mpa	2,500%	0.5000%
C – 18 horas	120.0 Mpa	16.01 Mpa	1.958%	0.07217%

Fonte: Autoria Própria

Observando a Tabela 2 podemos concluir que pelas médias, os valores da tensão foram bastante próximos, mas, o corpo de prova de recozimento de 6 horas, tem uma resistência a tração menor que os demais, mas a média de alongamento na ruptura foi considerável, tendo uma média maior que o corpo de prova de 18 horas, nos mostrando assim que o material tem uma ductilidade aumentada. O corpo de prova de 18 horas tem a maior média de tensão de escoamento, nos mostrando que é um material bastante resistente, mas, em contra partida, podemos notar que ele tem uma média de alongamento de ruptura inferior aos demais, concluindo assim que o material tem uma ductilidade diminuída.

Em Relação ao alongamento, podemos concluir que os dados não são conclusivos porque algumas das amostras tiveram seu rompimento fora da área útil do corpo de prova, assim impossibilitando a medição do alongamento final. Como mostra nas figuras abaixo.

Figura 20: Corpos rompidos logo após o ensaio de tração



Fonte: Autoria Própria (2019)

Figura 21: Corpos rompidos logo após o ensaio de tração



Fonte: Autoria Própria (2019)

Figura 22: Corpos rompidos logo após o ensaio de tração



Fonte: Autoria Própria (2019)

4.2. ENSAIO DE MICRODUREZA

Os Resultados médios para microdureza HV foram obtidos através do ensaio em laboratório, assim tendo as medias e desvio padrão de cada corpo de prova.

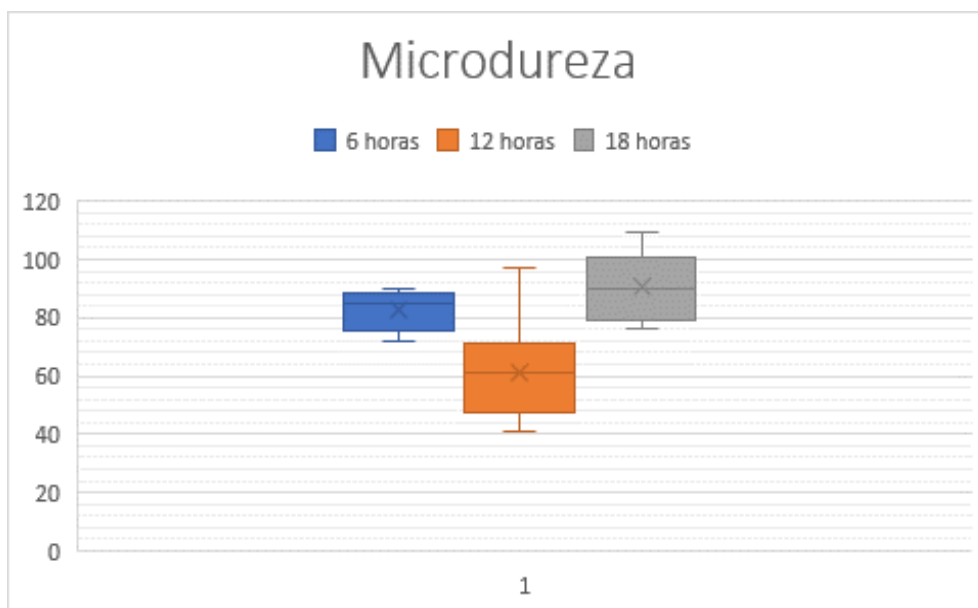
Tabela 3: Resultados médios e desvio padrão do ensaio de microdureza

HV	6 horas	12 horas	18 horas
Média	82,43	61,28	90,48
Desvio Padrão	6,62	10,75	16,88

Fonte: Autoria Própria (2019)

Os valores de microdureza HV, que são apresentadas na Tabela 3, observamos que a Liga Al-Cu de 18 horas possui a maior variação de dureza em sua matriz, seguido da Liga de 12 horas. Seus valores de microdureza sobrepõem devido a suas faixas de valores.

O Gráfico tipo caixa mostra de uma forma simplificada o ensaio de microdureza que foi feito nos corpos de prova, para a construção do mesmo, levou em consideração 14 endentações feitas nos tres tipos de corpo de prova, mas foram feitas 20 endentações em casa, so que foram descartadas os tres maiores valores e tres menores valores de cada amostra.

Figura 23: Gráfico de microdureza da liga fundida

Fonte: Autoria Própria (2019)

Os valores do desvio padrão e da média, são mais altos para as amostras de 18 horas, mas como podemos observar no gráfico, isso não acontece, o que tem uma dureza maior, ou seja, a média é o corpo de prova de recozimento de 12 horas, mas os dados podem ser inconclusivos, pois as vezes o lixamento e/ou o polimento das amostras não tenha sido da mesma forma para ambas. Podemos dizer que o desvio padrão neste tipo de ensaio é comum, assim obtendo diferentes valores de dureza, devido as diferentes fases da matriz, nos dando a possibilidade de termos diferentes propriedades mecânicas no material.

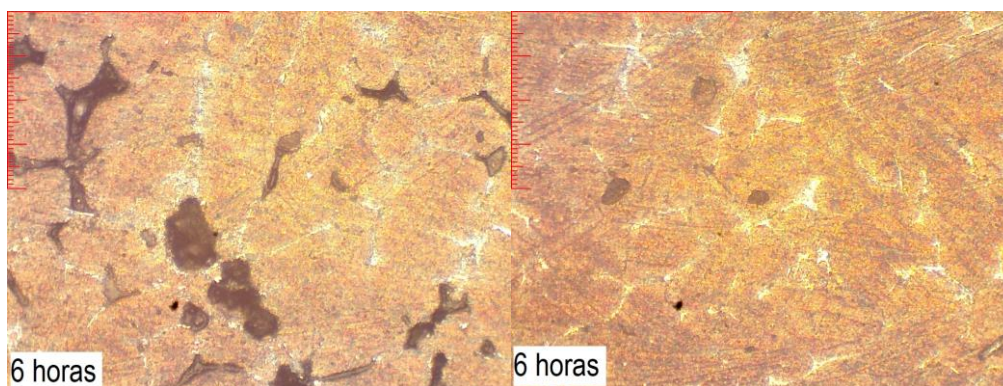
4.3. MICROESTRUTURA DA LIGA AL-CU

Os corpos de prova após serem fundidos e passado pela precipitação e recozimento notamos a diferença quanto a sua aparência, ou seja, para cada tipo de corpo submetido as horas de forno, pois a porosidade estava presente em determinadas quantidades.

As imagens a seguir foram obtidas com o auxílio de um microscópio óptico, sendo assim possível analisar a matriz rígida do corpo de prova analisado, como também observar a porosidade e/ou uma certa quantidade de aglomeração de precipitado em cada corpo de prova.

Na microestrutura observar na Figura 24, a liga Al-Cu de 6 horas de recozimento, mostra o cobre como soluto em excesso, mas aqui quantidade menor. Em relação a porosidade concluímos que os pontos maiores são porosidades ou aglomerações de precipitado, tornando assim o material mais frágil consequentemente menos resistente.

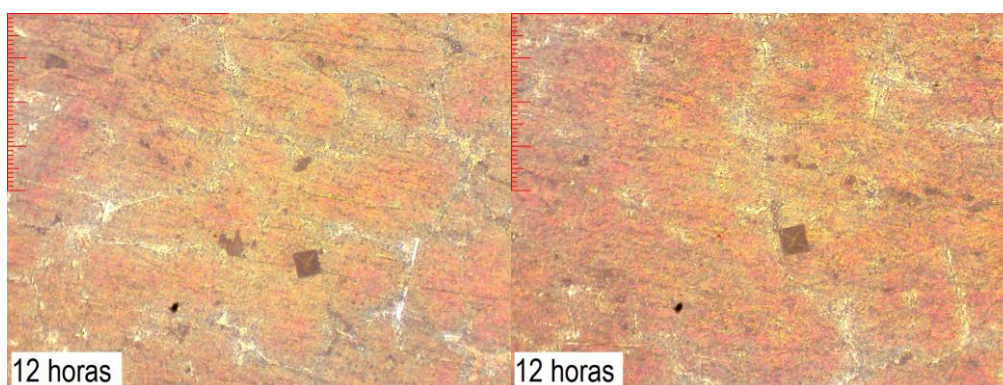
Figura 24: Microestrutura da liga de 6 horas de recozimento



Fonte: Autoria Própria (2019)

Na microestrutura observar na figura 25, a liga Al-Cu de 12 horas de recozimento, mostra o cobre como soluto em uma quantidade bastante considerável, mas ainda em uma menor quantidade. A microestrutura na liga Al-Cu apresenta uma matriz quase toda dissolvida, podemos observar na imagem algumas endentações (provenientes do ensaio de microdureza) Em relação a porosidade, ao contrário do corpo de prova anterior a porosidade está aqui presente de uma forma menos intensiva, ou seja, em menores quantidades, nos levando a concluir que o material tem uma resistência intermediária, pois, não chega a ser baixa e nem tanto alta.

Figura 25: Microestrutura da liga de 12 horas de recozimento

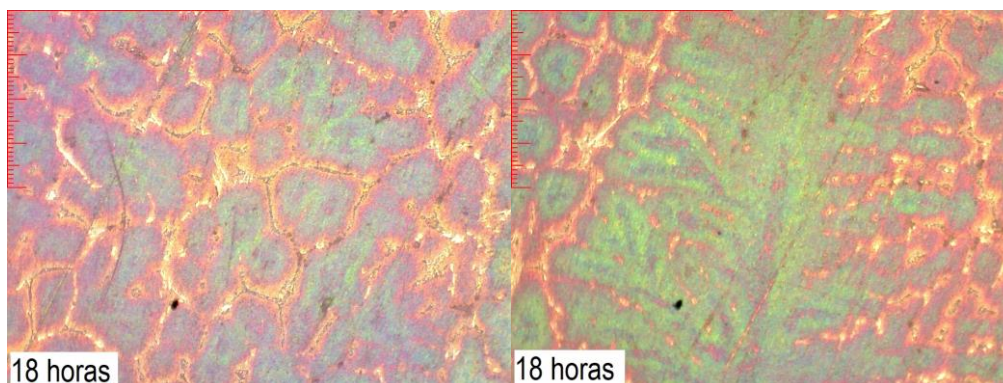


Fonte: Autoria Própria (2019)

Na microestrutura observar na Figura 26, a liga Al-Cu de 18 horas de recozimento, o soluto em excesso aqui será o cobre, pois ele se precipita em forma de CuAl_2 , assim tornando a matriz mais rígida. Em relação a porosidade, concluímos que foi o corpo de prova de obteve

a menor quantidade de poros, assim deixando menos frágil o material, tornando-o com uma resistência bem maior que os demais corpos de prova.

Figura 26: Microestrutura da liga de 18 horas de recozimento



Fonte: Autoria Própria (2019)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a conclusão do presente trabalho foi possível avaliar as propriedades das ligas Al (98%) – Cu (2%) quando submetidas a tratamentos térmicos e ensaios mecânicos.

Assim, foram obtidos e avaliadas as propriedades mecânicas de dureza e resistência a tração da liga Al_{98%}-Cu_{2%} em diferentes recozimentos, assim:

- Foi desenvolvido a liga Al_{98%}-Cu_{2%} para os ensaios mecânicos;
- Ao avaliar a resistência a tração da liga Al_{98%}-Cu_{2%}, pudemos concluir que os corpos de prova de maior resistência foi de 18 horas de recozimento e o de menor resistência foi o de 6 horas, o de maior resistência, obteve uma maior porcentagem de diluição do cobre no alumínio e com uma menor porosidade e a menor resistência foi o oposto, menor porcentagem de diluição e maior quantidade de porosidade;
- Foi observado que a difusão do cobre na matriz de alumínio em todas as amostras, houve uma variação de porcentagem de 17,6% para a amostra de 18 horas, 15,6% para a de 12 horas e 5,6% para a de 6 horas;
- Analisando as variações de microdureza da liga Al_{98%}-Cu_{2%}, foi possível observar que, quem teve a maior dureza foi a amostra de 18 horas de recozimento e a menor dureza foi a de 6 horas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aços e ferros fundidos: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos I Vicente Chiaverini. – 7. Ed. Ampl e rev. – são Paulo, Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR METALS, **Metals Handbook – Metallography and Microstructures. ASM Handbook**, vol 9, 1992.

ABAL – Associação Brasileira do Alumínio (Online). Disponível na internet em: <http://www.abal.org.br>. Acesso em agosto 2007.

ANDRADE, Maria Lúcia A. de & CUNHA, Luiz Maurício da S. & GANDRA, Guilherme Tavares. **O cobre brasileiro em ascensão no cenário mundial**. Banco Nacional de Desenvolvimento Social. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, nº 13, p.65 – 94, ano 2001.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Anuário Mineral Brasileiro. Brasília : DNPM, anos 1989 a 2000.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Balanço Mineral Brasileiro. Brasília : DNPM, ano 1988.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Economia Mineral do Brasil. Brasília : DNPM, ano 1995.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Vol. III. Brasília : DNPM, ano 1988.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral Brasileiro. Brasília : DNPM, anos 1989 a 2001.

BAYER, Paulo Sérgio. **Ensaio dos materiais**. 22 f. Curso Técnico em Mecânica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Joinville, 2013.

CALLISTER, Willian D.. **Ciência e Engenharia de Materiais**. Utah: Ltc Editora, 2002.

CAVALCANTE, Felipe. **Comportamento Mecânico da Liga de Alumínio 2024 Submetida a Diferentes Tempos de Envelhecimento**. 2016. 15 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Vitoria - Sc, 2016. Cap. 1.

CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA, Porosidades – Heterogeneidades físicas. Disponível em: Acesso em: 27 Abr. 2016.

EDELSTEIN, Daniel L. Copper. U.S. Bureau of Mines. USA, 1998.

INDUSTRIAL MECHANICS - **Tratamento térmico, recozimento e têmpera**. 2019. Disponível em: <<https://www.mecanicaindustrial.com.br/tratamento-termico-recozimento-e-tempera/>>. Acesso em: 04 jun. 2019.

GARCIA, Amauri; SPIM, Jaime Alvares; SANTOS, Carlos Alexandre dos. **Ensaaios dos Materiais**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ltc Editora, 2012.

HATCH, J. E. **Aluminum: Properties and physical metallurgy**. Metals Park, Ohio: American Society for Metals, 1984. 424 p.

LEMOS, Heider Curba & ARANTES, José Luiz Gonçalves. **Perfil analítico do cobre**. Brasília, DNPM, 1982. BRASIL. Boletim 56.

MINERAL COMMODITY SUMMARIES. Washington, U.S. Bureau of Mines. Annual. U.S. Geological Survey. Mineral Industry Surveys. Copper 2000.

MENDES, Rafael Bezerra Azevedo. **EFEITO DO TECIMENTO TRIANGULAR E TRAPEZOIDAL SOBRE REVESTIMENTOS APLICADO COM ARAMES TUBULARES QUANTO A RESISTÊNCIA AO DESGASTE ABRASIVO**. 2018. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018. Cap. 1.

MONTECELLI, C. A. **A competitividade da indústria brasileira de fundição**. Dissertação – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1994.

PEDROTTI, A.; FERREIRA, M. M.; CURI, N.. **RELAÇÃO ENTRE ATRIBUTOS FÍSICOS, MINERALOGIA DA FRAÇÃO ARGILA E FORMAS DE ALUMÍNIO NO SOLO**. 2003. 9 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Lavras – Ufla, Minas Gerais, 2003. Cap. 1.

QUEIROGA, Raíssa Alves; BATISTA, Kaline Ventura. II Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Campina Grande:: Coletânea de artigos. **SIMPEP**, Belo Horizonte, p.1-130, 2 mar. 2019.

RENNÓ, M. G.; BRESCIANI FILHO, E. **Propriedades e usos de materiais não-ferrosos**. São Paulo: ABM, 1987. 279 p.

RHODES, Regis A. **Metalografia Preparação de Amostras – Uma abordagem prática versão-3.0**. LEMM Laboratório de Ensaios Mecânicos e Materiais. Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Santo Ângelo, Rio Grande do Sul, Brasil, 2010.

SALLUSTE, Catilina. **Fragments des histoires. Texte établi e traduit par alfred ernout**. Paris: Les Belles Lettres, 1971.

SOARES, Glória Almeida. **Fundição – mercado, processos e metalurgia**. Rio de Janeiro: Coppe, 2000.

TRETHEWEY, K. R.; CHAMBERLAIN, J. **Corrosion for Science e engineering**. Harlow: Longman Group, 1998. 466 p.

VAN VLACK, Lawrence H.. **Princípios de ciência e tecnologia dos materiais**. 5. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1993.