



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO

Dados do Projeto de Pesquisa	
Título do Projeto de Pesquisa:	OBTENÇÃO E ANÁLISE MICROESTRUTURAL DE LIGAS QUASICRISTALINAS DO SISTEMA AlCuFe OBTIDAS PELA TÉCNICA DE SOLIDIFICAÇÃO RÁPIDA MELT-SPINNING
<i>Grande área/área segundo o CNPq (https://goo.gl/JB3tAs):</i>	Engenharia de Materiais e Metalurgia
<i>Grupo de Pesquisa vinculado ao projeto:</i>	Tecnologias Químicas Aplicadas
<i>Linha de pesquisa do grupo de pesquisa vinculado ao projeto:</i>	Divulgação científica e popularização da ciência
<i>Categoria do projeto:</i>	() projeto em andamento, já cadastrado na PRPI () projeto não iniciado, mas aprovado previamente (X) projeto novo, ainda não avaliado
Palavras-chave:	Quasicristais, melt-spinning, icosaedral, solidificação rápida

RESUMO

Este trabalho propõe-se à obtenção de liga quasicristalina do sistema Al-Cu-Fe-Mn pelo processo “melt-spinning”. As ligas serão previamente fabricadas, por fusão, em forno de indução sob atmosfera de argônio. Várias técnicas têm sido aplicadas na obtenção de ligas solidificadas rapidamente, como é o caso da técnica de “Melt Spinning”. Essa técnica será usada aqui nessa proposta de trabalho para obter os quasicristais propostos. Após as fusões as ligas serão submetidas ao processamento de fabricação dos quasicristais, em forma de fitas, por resfriamento rápido “melt spinnig”. A apresentação dos resultados será feita inicialmente pelo controle da composição nominal da liga estudada que será por espectroscopia de fluorescência de raios-x (EFRX). A fim de caracterizar estruturalmente a fase quasicristalina serão feitas caracterizações por difração de raios-x (DRX) ($K_{\alpha}\text{Cu}=1,5406\text{\AA}$) e por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Por fim, os efeitos dos procedimentos usados na obtenção da fase quasicristalina do sistema AlCuFeMn pelo processo melt spinning será avaliado.

INTRODUÇÃO

Com o considerável avanço tecnológico das últimas décadas e as crescentes pesquisas por novos materiais e tecnologias, a ciência e engenharia dos materiais vem assumindo papel importante no cenário tecnológico mundial. Pesquisas por processos, materiais e produtos que apresentem certos característicos tecnológicos que atendam e possibilitem inovações tecnológicas são cada vez mais exploradas.

A diversidade de materiais, atualmente disponíveis para o uso em engenharia, é extraordinariamente grande, existindo materiais cada vez mais especializados para aplicações específicas. Um material que tem chamado a atenção da comunidade científica e tem assumido um papel importante e apresentado resultados animadores quanto à superioridade de características, são as ligas quasicristalinas. As crescentes investigações e divulgações a respeito das descobertas dessa nova classe de materiais, os quasicristais, vêm crescendo a cada dia e chamado a atenção do meio científico devido a suas excelentes propriedades físicas e químicas. Divulgação de resultados promissores em relação a métodos de obtenção e propriedades peculiares pode ser comprovada através das linhas de pesquisas e aplicações atualmente existentes para essa nova classe de material.

Há pouco mais que uma década os quasicristais, descoberto primeiramente em 1982, mas apresentado ao mundo por Shechtman et al, apenas em 1984 em um artigo publicado sobre uma liga binária Al-Mn que se solidificava rapidamente, mas contudo apresentava uma ordem de longo alcance, o que violava as regras cristalográficas para as estruturas cristalinas, revolucionando a definição de "cristal" dada pela União Internacional de Cristalografia, que a alteraria em seguida. Tal descoberta foi provada por Daniel Shechtman por meio de difração de elétrons (SHECHTMAN, 2011). Os quasicristais são materiais que apresentam um padrão diferente daqueles conhecidos atualmente como os cristalinos ou amorfos. Eles não apresentam periodicidade a longo alcance, porém são ordenados, ou seja, eles apresentam ordenação de crescimento, porém não periódicos (JASBEC, 2009; JENKS, 1998).

A estrutura do quasicristal não apresenta uma “célula unitária” simples, que pode ser repetido periodicamente em todas as direções para preencher o espaço, mas eles têm um padrão que se repete quase periodicamente. O nome quasicristal, uma abreviatura de cristal quase periódico, é resultado dessa simetria rotacional única e aperiódica dos espaçamentos encontrados nestes materiais. Nos padrões de difração, os quasicristais apresentam simetrias de ordem 5, 8, 10 e 12 (HUTTUNEN-SAARIVIRTA, 2004), diferentemente da cristalografia tradicional onde os eixos rotacionais são de ordem 1, 2, 3, 4 e 6. Esta periodicidade impõe um conjunto de regras como, por exemplo, a simetria de rotação permitida: somente as simetrias de primeira, segunda, terceira, quarta e sexta ordem podem descrever uma grande quantidade de átomos em materiais cristalinos (PADILHA, 1997).

A descoberta de SHECHTMAN et al., em 1984 rompeu este paradigma da cristalografia, com o qual até então acreditava-se que apenas aquele ordenamento atômico dos cristais era possível. Nasceram assim os quasicristais, que ao contrário da estrutura cristalina tradicional, constituída de átomos ou de moléculas perfeitamente arranjados e repetindo-se infinitamente, apresentam ordem translacional quase periódica de longo alcance e simetria de rotação cristalograficamente proibida, tais como os eixos de ordem cinco, oito, dez e doze formando estruturas icosaedrais, octagonais, decagonais e dodecagonais (HUTTUNEN-SAARIVIRTA, 2004), como as mostradas na figura a seguir.

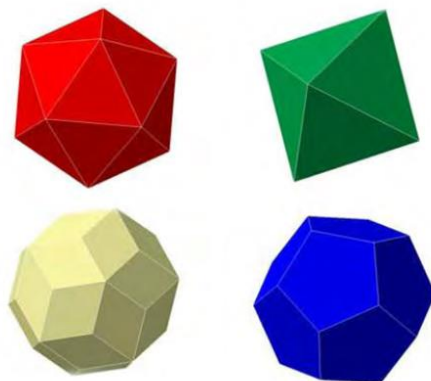


Figura 4.1. Poliedros icosaedral, octogonal, dodecaedral, triacontraedral

Os quasicristais exibem interessantes propriedades físicas, que são bastante diferentes das propriedades das ligas metálicas cristalinas convencionais. Em geral os quasicristais apresentam baixa energia superficial comparado à maioria dos metais, baixa condutividade elétrica e térmica, propriedades ópticas incomuns, resistência ao atrito e ao desgaste, resistência à oxidação, biocompatibilidade, alta dureza, baixa molhabilidade em contato com a maioria das soluções aquosas para citar algumas, que os tornam muito interessantes para varias aplicações práticas (TURQUIER et al., 2007).

A formação de quasicristais pode normalmente ser prevista por diagramas de equilíbrio de fase. Podem, assim, ser preparados pelos processos de equilíbrio convencionais que utilizam procedimentos de fusão e solidificação (SAARIVIRTA, 2004). Entre as técnicas listadas na literatura para obtenção dos quasicristais podemos destacar: solidificação lenta (JANOT, DUBOIS, 1998), a solidificação rápida, técnica “melt spinning” (HUTTUNEN-SAARIVIRTA, 2004), deposição (LI et al., 2002), jato de plasma sob vácuo (ZHOU, et al., 2006) e a moagem de alta energia (CADORE, 2007; WANG, et al., 2007; YIN, et al., 2007). Há pouco mais de uma década os quasicristais apresentava-se como um grande desafio para cientistas e engenheiros, pois, sabia-se pouco dessa nova classe de material. O crescimento significativo de pesquisas a respeito dos efeitos relacionados à síntese, o processamento, a microestrutura e as propriedades dos quasicristais pode fornecer novas aplicações para esse material.

O projeto aqui descrito aborda os aspectos relativos a obtenção e caracterização micruestrutural de ligas quasicristalinas do sistema AlCuFeMn pela técnica melt-spinning. Para a obtenção das ligas quase cristalinas a pesquisa aqui descrita contará com o apoio da Universidade Federal da Paraíba, que já vêm desenvolvendo no (Laboratório de Solidificação Rápida) LSR/UFPB pesquisas sobre essa nova classe de materiais a mais de uma década com excelentes resultados e varias publicações. Os quasicristais vêm sendo bastante estudados e essa crescente exploração baseia-se, principalmente, em suas propriedades que são de grande interesse para aplicações práticas. Entre estas propriedades podemos destacar um baixo coeficiente da fricção, alta dureza, elevadas resistências ao desgaste e oxidação, baixas condutibilidades elétricas e térmicas. Algumas aplicações dos quasicristais são limitadas por serem bastante frágeis e possuírem baixa deformabilidade na temperatura ambiente, o que exclui qualquer possibilidade de aplicação como material estrutural, embora seu comportamento torne-se dúctil o suficiente para acomodar deformações plásticas a altas temperaturas (DUBOIS, 2000). Este inconveniente de fragilidade pode ser superado usando quasicristais como uma fase descontínua (reforço) para produção de materiais compósitos ou como revestimentos. Este trabalho propõe-se à obtenção de um uma liga quasicristalina, tendo como técnica para obtenção da fase icosaedral pela técnica de resfriamento rápido melt spinnig e, por conseguinte a potencialidade para a produção do material proposto.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste projeto é a obtenção seguida da caracterização microestrutural de ligas quasicristalinas do sistema AlCuFe. Esse material deverá ser obtido por meio do método de solidificação rápida “melt spinning”.

Neste sentido, o estudo tem como objetivos específicos:

- a) Avaliar a composição adequada do sistema adotado AlCuFe para formação da estrutura quasicristalina;
- b) Estudo sistemático através de bibliografia especializada dos aspectos relativos ao processamento para produção da fase quasicristalina da liga em questão;
- c) Identificar e aperfeiçoar parâmetros do processamento adequando as possíveis fugas composicionais para obtenção da microestrutura em estudo;
- d) Investigar a microestrutura obtida através de análises pertinentes;
- e) Avaliar os efeitos dos procedimentos usados na obtenção da fase quasicristalina do sistema AlCuFeMn pelo processo melt spinning.

3. METODOLOGIA

As características estruturais dos quasicristais são influenciadas por sua síntese e métodos de processamento. Diversos são os estudos que relatam a formação da fase icosaedral quasicristalina em ligas AlCuFe. Essas ligas têm sido amplamente estudadas devido a possibilidade de se produzir quasicristais em grande quantidade. A formação de quasicristais estáveis pode normalmente ser obtido por diversas técnicas, amplamente conhecidos na metalurgia, podendo-se enumerar: fundição, moagem de alta energia (MAE) ou mecanossíntese, filmes finos e técnicas de solidificação rápida, como o melt-spinning objeto deste projeto, prenunciadas por diagramas de equilíbrio.

O “melt spinning”, técnica usada para obtenção dos quasicristais propostos nesse projeto, é a técnica de solidificação rápida mais usada atualmente e, por exemplo, é o único método para a preparação de algumas ligas metaestáveis quasicristalinas como Al-Mg-Cu (VENKATESWARA et al. 1988, TAKEUCHI et al. 2000). A técnica foi o primeiro método utilizado para produzir materiais quasicristalinos. (TSAI et al. 1987)

A metodologia adotada será baseada na avaliação dos aspectos relativos a obtenção de ligas quase cristalinas AlCuFeMn pela técnica melt-spinning. Nesta etapa o projeto contará com a parceria do Laboratório de Solidificação Rápida (LSR) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) localizada na cidade de João Pessoa – PB que disponibilizarão seus laboratórios para a realização dos procedimentos tecnológicos relacionados a obtenção da liga pela técnica proposta.

Este projeto versará por fornecer uma compreensão sobre o efeito desse processamento, para tal tomando como base um levantamento bibliográfico, a partir do qual será levantada a compreensão dos aspectos relativos a obtenção da estrutura quasicristalina concomitantemente será determinada também a linha de trabalho que incluiu o conhecimento a respeito de considerações sobre a caracterização microestrutural desses materiais fundamentados em ciência e engenharia de materiais. A execução deste trabalho será

conduzida, com o máximo de objetividade para assegurar que o projeto seja executado em concordância com as descrições apresentadas nesta proposta com bom desempenho em todas as suas etapas que será assim dividido:

- I. Estudo detalhado através de um levantamento bibliográfico a respeito dos aspectos da obtenção das quasicristalinas AlCuFe buscando conhecer as características para uma compreensão sobre o efeito do processamento;
- II. Fabricação de ligas quasicristalinas: As ligas serão obtidas solidificação rápida por melt spinnig no Laboratório de Solidificação Rápida (LSR) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).
- III. Análise microestrutural, análises químicas: As ligas obtidas deverão ser analisadas micro estruturalmente pelas seguintes técnicas: Difração de Raios-X (DRX); Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV); Análises de imagens Espectrofotômetro de fluorescência de Raios-X (WDS); e Análises térmicas (TGA) no LSR da Universidade Federal da Paraíba e na Universidade Federal do Cariri no Laboratório de Caracterizações.

4. PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES CIENTÍFICAS, TECNOLÓGICAS OU DE INOVAÇÃO DO PROJETO

Toda aplicação tecnológica de qualquer material depende de suas propriedades. Daí justifica-se o investimento financeiro por parte dos governos e do setor privado e a busca incansável de cientista e pesquisadores para compreender o comportamento de novos materiais, quando submetido a solicitações diversas. Destacam-se igualmente os esforços empreendidos para a produção cada vez mais eficaz destes novos materiais, seja por processos tradicionais, seja por processos ou rotas inovadores. Os quasicristais, que foram descobertos em 1984 por SHERCTHMAN et al., (TILLEY, 2006; SHECHTMAN, et al., 1984; DUBOIS, 2000), são um importante exemplo de novos materiais. Este grupo internacional de pesquisadores anunciou sua descoberta com uma liga Al-Mn, solidificada rapidamente, cujo padrão de difração exibiu, surpreendentemente, padrão de difração com eixo de simetria de ordem 5. O termo quasi refere-se ao fato desses materiais apresentarem uma estrutura atômica bem ordenada, característica tipicamente dos cristais, mas são aperiódicas, sendo esta a periodicidade gerada pela presença de eixo, ou eixos, de simetria proibida pela cristalografia. Os quasicristais, cujas estruturas apresentam simetria não cristalográfica, vêm atraindo considerável interesse e suas propriedades estruturais, eletrônicas e magnéticas, bem como a interação entre elas, que são bastante diferentes das propriedades do estado cristalino convencionais (DUBOIS, 2000) veem sendo investigadas.

Os quasicristais são caracterizados por apresentarem propriedades como alta dureza, baixa condutividade elétrica e térmica, baixo coeficiente de atrito, baixa energia de superfície, alta resistência à corrosão e propriedades ópticas que não são observadas em ligas cristalinas (DUBOIS, 2005; SHECHTMAN, 1984). Estas propriedades tornam as ligas quasicristalinas de grande interesse para aplicações, estruturais, térmicas, elétricas, para revestimento, contra corrosão, dentre outras (SHECHTMAN, 1984). O uso de ligas quasicristalinas como revestimentos, por exemplo, em tubulações industriais, já tem sido alvo de pesquisas devido à baixa molhabilidade do material, baixa energia superficial, resistência à oxidação e corrosão, alta resistência ao desgaste, alto módulo de elasticidade, elevada dureza. Sugere-se, desta maneira, que estas propriedades, coordenadas com baixo coeficiente de atrito e baixo custo,

podem ser aproveitadas de maneira a corrigir as “baixas” características inerentes a aplicações como revestimento quando aplicados a algumas matrizes poliméricas como é o caso das resinas epóxi (BLOOM et. al, 2000; ALTIDIS et al, 2011, 2012, SCHWARTZ e BAHADUR, 2007) Quasicristais do sistema AlCuFe tem se destacado e tem atraído a atenção dos pesquisadores devido a vários fatores, incluindo a fácil obtenção desses elementos, baixa toxicidade e também pelo fato do custo do processamento ser relativamente baixo, ao contrário de muitos outros elementos que formam quasicristais (YOKOYAMA et al., 2000). Vários estudos e revisões tratam sobre as ligas quasicristalinas do sistema AlCuFe onde abordam aspectos a respeito da composição, estabilidade, fabricação e propriedades da fase quasicristalina icosaedral que se forma nesse sistema (DUBOIS, 2005; HUTTUNEN-SAARIVIRTA, 2004; WOLF et al, 2016; SORDELET, 2000). Sobre esse sistema é possível obter fases estáveis em um estreito campo composicional e caso ocorra desvio da composição durante a solidificação podem ocorrer formação de fases intermetálicas. A formação dos quasicristais depende do controle da composição e do processo de obtenção. Historicamente, os métodos usados para preparar quasicristais derivam da tecnologia da solidificação lenta, que seria o primeiro relato a respeito de uma fase única quasicristalina obtida por esta técnica data de 1986 por Bruno Dubosk, com uma liga Al-Li-Cu (JANOT, DUBOIS, 1998). Na solidificação lenta, evidencia-se na maioria dos casos, uma fase cristalina em conjunto com uma fração de fase quasicristalina. Observou-se em alguns estudos (ZHOU, 2006), que tratamentos térmicos apropriados possibilitaram o aumento da fase quasicristalina, podendo atingir até uma única fase quasicristalina, dependendo da composição da liga (DUBOIS, 2000). Outra técnica muito utilizada para produção dos quasicristais é a solidificação rápida, entre elas a técnica melt spinning, sendo esta a utilizada nesta pesquisa, essa técnica usa resfriamento rápido de líquidos e se destaca como o método mais usado (HUTTUNEN-SAARIVIRTA, 2004), a moagem de alta-energia milling (WANG, 2007), a deposição (LI et al., 2002), e a técnica de plasma spray que já vem sendo utilizada com sucesso (ZHOU, et al., 2006), são também processos bastante apropriados na síntese de quasicristais. Os quasicristais já veem sendo estudados por pesquisadores de todas as partes do mundo e os prognósticos para esse crescimento baseiam-se principalmente em suas propriedades que são de grande interesse para aplicações práticas. Entre estas propriedades podemos destacar um baixo coeficiente de fricção, alta dureza, elevadas resistências ao desgaste e oxidação, baixas condutibilidades elétricas e térmicas. Algumas aplicações dos quasicristais são limitadas por serem bastante frágeis e possuem baixa deformabilidade na temperatura ambiente, o que exclui qualquer possibilidade de aplicação como material estrutural, embora seu comportamento torne-se dúctil o suficiente para acomodar deformações plásticas a altas temperaturas (DUBOIS, 2000). Este inconveniente de fragilidade pode ser superado usando quasicristais como uma fase descontínua (reforço) para produção de materiais compósitos ou como revestimentos.

Este trabalho propõe-se à obtenção de um uma liga quasicristalina, tendo como técnica para obtenção da fase icosaedral pela técnica de resfriamento rápido melt spinnig e, por conseguinte a potencialidade para a produção do material proposto.

A relevância deste trabalho, sob âmbito do projeto, é apresentar uma contribuição para avaliar a obtenção de ligas quasicristalina do sistema AlCuFe pela técnica de solidificação rápida melt spinnig. Para a obtenção das ligas quase cristalinas a pesquisa aqui descrita contará com o apoio da Universidade Federal da Paraíba, que já vêm desenvolvendo no (Laboratório de Solidificação Rápida) LSR/UFPB pesquisas sobre essa nova classe de materiais a mais de uma década com excelentes resultados e varias publicações. Também será estudada a microestrutura dessa liga e a validade do processamento. Os quasicristais aqui propostos serão validados com dados experimentais, obtidos de caracterizações microestruturais no laboratório de caracterização da UFCA como também do LSR da UFPB.

Além dos aspectos descritos nessa proposta de trabalho, que impulsionam essa pesquisa, alia-se o fato da consolidação de um grupo de trabalho, dedicado a estudos relativos a esse novo material conhecido como o terceiro estado sólido da matéria, após o cristal clássico e o estado amorfo, que envolverá os cursos de engenharia desta universidade em apoio as atividades de ensino, pesquisa e extensão.

5. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO DO PROJETO

Dados do Plano de Trabalho	
Título do Plano de Trabalho:	PLANO DE TRABALHO DO PROJETO DE PESQUISA SOBRE OBTENÇÃO DE FASE QUASICRISTALINA AlCuFeMn
Modalidade de bolsa solicitada:	PIBIC
Projeto de Pesquisa vinculado:	OBTENÇÃO E ANÁLISE MICROESTRUTURAL DE LIGAS QUASICRISTALINAS DO SISTEMA AlCuFe OBTIDAS PELA TÉCNICA DE SOLIDIFICAÇÃO RÁPIDA MELT-SPINNING

1. OBJETIVOS

O objetivo geral deste projeto é a obtenção seguida da caracterização microestrutural de ligas quasicristalinas do sistema AlCuFe. Esse material deverá ser obtido por meio do método de solidificação rápida “melt spinning”.

2. METODOLOGIA

- I. Estudo detalhado através de um levantamento bibliográfico a respeito dos aspectos da obtenção das quasicristalinas AlCuFe buscando conhecer as características para uma compreensão sobre o efeito do processamento;
- II. Fabricação de ligas quasicristalinas: As ligas serão obtidas solidificação rápida por melt spinnig no Laboratório de Solidificação Rápida (LSR) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).
- III. Análise microestrutural, análises químicas: As ligas obtidas deverão ser analisadas micro estruturalmente pelas seguintes técnicas: Difração de Raios-X (DRX); Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV); Análises de imagens Espectrofotômetro de fluorescência de Raios-X (WDS); e Análises térmicas (TGA) no LSR da Universidade Federal da Paraíba e na Universidade Federal do Cariri no Laboratório de Caracterizações.

3. CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

As atividades a serem realizadas pelo aluno bolsista são:

AT1. Revisão bibliográfica;

AT2. Preparar matérias primas metálicas para compor a liga

AT3. Fabricação das ligas por fundição e das fitas por melt spinning

AT4. Fabricação das fitas melt spinning

AT5. Caracterizações

AT6. Análise e discussão dos resultados

AT7. Publicações de review/artigos em eventos /revistas científicas da área objeto

AT8. Elaboração do relatório de conclusão do trabalho

[illegible]

6. REFERENCIAS

ALTIDIS J. D. et al., "Adhsion Tests Using Epoxu Quasicrystal Composites, Journal of Adhesion Science and Technology", pag. 1443-1451, 2011.

ALTIDIS, J.D., LIMA, S.J.G., GOMES, R.M.,SAMPAIO,E.M., TORRES, S.M.,BARROS, S. D. "Adhesion Test Using Epoxy Quascrystal Compsites" Journal of Adhesion Science and Technology 26 1443-1451 (2012).

BLOM; P.D.; BAKERIKAR; K. G.; OTAGBE; J. U.; SHEARES; V. V.; "Development of novel polymer/quasicrystal composte materal" Materials Scenc and Eninnerng 294-296, 156-159, (2000).

BLOOM P. D. et al., "Frabrication and wear resistance of Al/Cu/Fe quasicrystal-epoxy composite materials", Materials and Engineering A, pag. 46-57, 2003.

CADORE, Scheyla. Síntese, hidrogenação e caracterização estrutural de quase-cristais dotipo Al-Cu-Fe. 2007. Dissertação (mestrado em Física), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007. Disponível em <http://www.pfi.uem.br/mfi>. Acessado em 23 maio 2019.

DUBOIS, J. M., 2005 Useful Quasicrystals. World Scientific.

DUBOIS, J. M., 2000, "New prospects from potential applications of quasicrystalline materials", Materials Science and Engineering, v. 294-296, pp. 4-9.

DONG, C., ZHANG, L. M., FERRÉ, E. B., BRUNET, P., DUBOIS, J. M., "Surface properties of the B-2based aproximants in relation to quasicrystals", Materials Science and Engineering A, v. 304-306, pp. 172-177, 1991.

D. Shechtman and I. Blech, "Metallic Phase with Long-Range Orientational Translational Symmetry," vol. 53, no. 20, pp. 1951–1954, 1984.

HUTTUNEN-SAARIVIRTA, Elina. Microstructure, fabrication and properties of quasicrystalline Al-Cu-Fe alloys: a review. Journal of Alloys and Compounds. [S.l];, v.363, p. 150-174, 2004.

HUTTUNEN-SAARIVIRTA, Microstructure, Fabrication and Properties of Quasicrystalline AlCuFe Alloys: a review, Journal of Alloys and Compounds 363, 150-174, 2004.

JANOT, C., DUBOIS, J.M., (1998), "Les Quasicristaux Matière à Paradoxes". EDP Science, France.

JASBEC, S. The properties and Applications of Quasicrystals. University of Ljuljana – Faculty of Mathemattics and Physics, 2009.

JENKS, C. J; THIEL, P. A. Quasicrystals: A Short Review from a Surface Science Perspective. Langmuir, v.14, p. 1392-1397. 1998.

J.-M. Dubois, USEFUL QUASICRYSTALS. 2005.

KALOSHKIN, S.D et al. Structure and mechanical properties of mechanically alloyed Al/Al-Cu-Fe composites. *Journal of Materials Science*, [S.l], v.39, p.5399-5402, in *Mechanochemistry and Mechanical Alloying*, 2003.

LI, X.Z. et al. Stable Quasicrystalline phase in Al-Cu-Fe-Cr coating materials. *Metallurgical and Materials Transactions*, [S.l.], v33A, p.675-679, 2002.

PADILHA, F. A., 1997, livro “Materiais de Engenharia: Microestrutura e Propriedades”, editora Hemus.

SAARIVIRTA, E. H., 2004, “Microstructure, fabrication and properties of quasicrystalline Al-Cu-Fe alloys: a review”, *Journal of alloys Compounds*, v. 33, pp. 150-174.

SCHWARTZ, C.J, BAHADUR, S., and Mallapragada, S.: “Effect of Crosslinking and Pt-Zr Quasicrystal Fillers on the Mechanical Properties and Wear Resistance of UHMWPE for Use in Artificial Joints,” *Wear*, 263(2007), 1072-1080.

SHECHTMAN, D. The Discovery of quasicrystals. Scientific Background on the Nobel Prize in Chemistry. The Royal Swedish Academic of Sciences, 2011

SORDELET D.J., WIDENER S.D., TANG Y., BESSER M.F.. Characterization of a commercially produced Al–Cu–Fe–Cr quasicrystalline coating, *Materials Science and Engineering A* 294-296 (2000) 834-837.

TAKEUCHI, T., MIZUNO, T., BANNO, E., MIZUTANI, U., (2000), *Mater. Sci. Eng. A*294–296 , 522–526.

TILLEY, R. J. D. Defects, modulated structures and quasicrystals. In: TILLEY, R. J. D. **Crystals and crystal Structures**. 1 ed. Cichester: John Wiley & Sons, LTD 2006. Capítulo 8, p. 187-208.

TSAI A.P, INOUE A., MASUMOTO T. A stable quasicrystal in al-cu-fe system, *Japanese Journal of Applied Physics* 26 (1987) 1505-1507

TURQUIER, F. et al. Synthesis of single-phase Al-Cu-Fe quasicrystals using high-energy ball-milling. *Journal of Non-Crystalline Solids*, [S.l.], v.353, p.3417-3420, 2007.

VENKATESWARA RA, V., ANANTHARAMAM, T.R., (1988), *Mater. Sci. Eng. A*99, 393-398

WANG, S-L.; WANG, P-C.. In Situ XRD and ATR-FTIR Study on the Molecular Orientation of Interlayer Nitrate in Mg/Al- Layered Double Hydroxides in Water. **Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects**, v. 292, p. 131-138, 2007.

WANG, Yan et al. On phase transformations in mechanically alloyed and subsequently annealed Al₇₀Cu₂₀Fe₁₀. *Intermetallics*, [S.l.], p.1-9, 2007.

WANG, Y., TIAN, Y., WANG, Y., GENG, H., ZHANG, Z., (2008), "On phase transformations in mechanically alloyed and subsequently annealed Al70Cu20Fe10". *Intermetallics*, 16 , 121-129.

YIN, S., BIAN, Q., QIAN, L., ZHANG, A., (2007), "Formation of Al70Cu20Fe10 icosahedral quasicrystal by mechanically alloyed method". *Materials Science and Engineering A465*, 95–99.

ZHOU, C. *et al.* Hot corrosion of AlCuFeCr quasicrystalline coating on titanium alloys with NaCl deposit. *Surface & Coatings Technology*, [S.l], v. 2001, p.1718-1723, 2006.