



DESIGN E DIAGRAMAÇÃO:

Vanderson Andrade

SUPERVISORA:

Prof. Me. Sonia Siqueira

CONSELHO EDITORIAL CIENTÍFICO

Centro Universitário Teresa D'Ávila (UNIFATEA)

Doutorando pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC)

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

Instituto de Estudos Avançados, Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial

Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA)

Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE)

Programa de Pós-Graduação em Design, Tecnologia e Inovação -PPG-DTI

Universidade da Região de Joinville - UNIVILLE

Universidade do Vale do Paraíba

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" -UNESP, Campus Guaratinguetá

Universidade Federal de Itajubá/MG

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Me. Francisco Henrique Cappi de Freitas

Prof. Dr. Alexei Mikhailovich Essiptchouk

Prof. Dr. Antônio Jorge Abdalla

Prof. Dr. Danilo Corrêa Silva

Prof. Dr. Felipe de Sousa Miranda

Prof. Dr. Felipe Rocha Caliar

Prof. Dr. Gilberto Petraconi Filho Petraconi

Prof. Dr. João Eduardo Chagas Sobral

Prof. Dr. Marcelo dos Santos Pereira

Prof. Dr. Wellington de Oliveira

Prof. Me. Adriano José Sorbille de Souza

Profa. Dra. Erika Peterson Gonçalves

Profa. Dra. Rosa Maria Rocha

Cristian Cley Paterniani Rita -Doutorando

Daniele Omagbi Sant'Anna

David Pacheco Vilela

Fábio Pinto Silva

Gabriel Barbieri

Gabriel Nunes da Silva

Jefferson Antunes Almeida Novais Santos;

Lauren Duarte

Liane Roldo

Luciano Santos da Silva

Maria Rosária Oliveira;

Pâmela Sabrina Barbosa Bento

Paulo Sergio de Sena

Tatyana Barros

SUMÁRIO

4	ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DE BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS: DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E EFEITOS NA CARBONATAÇÃO
19	TÉCNICAS COMPUTACIONAIS 3D E A UTILIZAÇÃO DE NOVOS MATERIAIS NO DESENVOLVIMENTO DE MODELOS PARA INDÚSTRIA CERÂMICA
32	NANOARTE, MATERIAIS E FILOSOFIA: CONEXÕES EMERGENTES
41	CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS UHTC EXPOSTOS A TOCHA DE PLASMA HIPERSÔNICA SIMULANDO APLICAÇÕES AEROESPACIAIS
56	CARACTERÍSTICAS DA SOLDABILIDADE A LASER DE AÇOS GALVANIZADOS DP980
72	ESTUDO DOS EFEITOS DA OXIDAÇÃO ELETROLÍTICA A PLASMA NA LIGA AA-5052-H34 EM SOLUÇÃO DE TETRABORATO DE SÓDIO
89	AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO USO TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DA FIBRA DE BAMBU PRODUZIDOS NO MUNICÍPIO DE ITAJUBÁ/MG
109	RESTAURO E ACESSIBILIDADE ÀS INFORMAÇÕES HISTÓRICAS DE UM BEM PATRIMONIAL. ESTUDO DE CASO DO VITRAL DA CATEDRAL NOSSA SENHORA DA PIEDADE, LORENA, SP
125	PSEUDOCAULE DA BANANEIRA: POSSIBILIDADES PARA O DESIGN
134	AVALIAÇÃO DO ACABAMENTO SUPERFICIAL DE MÁRMORES USINADOS A SECO POR FERRAMENTA DE AÇO RÁPIDO E FERRAMENTA DIAMANTADA

ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DE BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS: DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E EFEITOS NA CARBONATAÇÃO

Jefferson Antunes Almeida Novais Santos;
Maria Rosária Oliveira;
Profa. Dra. Erika Peterson Gonçalves
Universidade do Vale do Paraíba

RESUMO

A procura de soluções para a mitigação dos problemas ambientais causados pelo descarte inadequado de borracha é necessária. O desenvolvimento da argamassa com o uso de materiais não tradicionais do meio da construção civil motiva a pesquisa de novas técnicas com a função de melhorar o desempenho e a durabilidade dos compostos cimentícios. O principal objetivo deste projeto foi verificar as propriedades mecânicas e químicas de uma argamassa



com adição variável do pó de borracha proveniente de pneu inservível, curada em uma solução de hidróxido de cálcio. Verificando no estado fresco o índice de consistência e no estado endurecido a compressão axial e diametral, densidade aparente, microscopia e carbonatação. Os resultados permitiram concluir que quanto maior a incorporação de borracha nos elementos cimentícios maior será a redução de algumas propriedades do mesmo, assim sendo possível reconhecer, quantificar e verificar quais seus possíveis usos e aplicações na construção civil, e quais são as soluções possíveis para a mitigação dos problemas causados pela aplicação do resíduo de borracha na argamassa.

Palavras-chave: borracha, resíduos, argamassa.

ABSTRACT

Through environmental problems caused by the inappropriate disposal of rubber we are provoked to seek solutions and methods to improve is problematic. The development of mortar with the use of non-traditional materials motivates the research of new techniques with the function of improving the performance and durability of the compounds. The main objective of this project is to verify the mechanical and chemical properties of a mortar with variable addition of the rubber powder from unserviceable tire, cured in a solution of calcium hydroxide. Checking in the fresh state the index of consistency and in the hardened state the axial and diametral compression, apparent density, microscopy and carbonation. The results allowed to conclude that the greater the incorporation of rubber in the cementitious elements the greater will be the reduction of some properties of the same, so it is possible to recognize, quantify and verify what their possible uses and applications in the civil construction, and what are the possible solutions for the problems caused by the application of rubber residue to the mortar.

Keywords: Rubber, Waste, Mortar.

INTRODUÇÃO

Com a necessidade de um desenvolvimento sustentável, a construção civil é um dos meios para solucionar alguns problemas de descartes de resíduos, devido ao alto poder de incorporação de materiais desse setor. Pelo fato do uso de matéria prima natural em seus agregados na construção civil, o meio vem buscando alternativas de uso de material reciclável que possa substituir ou incorporar os componentes usados na construção (RODRIGUES e FERREIRA, 2009).

Pelo fato do aumento desenfreado do consumo de pneus, causado pela ascensão da indústria automobilística, o descarte inapropriado do pneu vem causando alto impacto ambiental além de afetar a saúde pública (RODRIGUES e FERREIRA, 2009; PEDRO, 2011).

Os estudos da reutilização dos resíduos de pneu comumente são realizados substituindo os agregados naturais contribuindo na redução do uso de elementos finitos (MARTINS, 2005; BIGNOZZI e SANDROLINI, 2004). Normalmente, a granulometria do pó de borracha utilizada abrange a mesma dimensão dos agregados miúdos já utilizados na produção de argamassa (MARTINS, 2005).

Em estudos foi verificado que a massa cimentícia com adição de borracha apresenta uma redução na resistência devido a diminuição de sólidos com capacidade de resistir esforços e a concentração de tensões ao redor dos agregados de borracha (TOPÇU E AVCULAR, 1997; SANTOS, 2005). A microestrutura da mistura cimento-borracha apresenta uma zona de transição mais fraca quando comparada com a zona de transição cimento-areia fato que corrobora a diminuição da resistência (MARTINS, 2005; TURATISINZE et al, 2004).

Analizando diversos estudos que a substituição parcial de pó de borracha, na argamassa oferece alguns benefícios, como a melhora do modulo de elasticidade e da durabilidade, mesmo reduzindo a resistência a tração e compressão, obteve resultados promissores para a argamassa (PEDRO, 2011; PINTO e FIORITI, 2016).

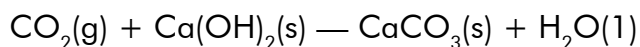
Pelos resultados obtidos torna a incorporação de pó de pneu inservível à argamassa uma mistura interessante para atender a norma de desempenho NBR (Norma Brasileira de Regras) 15575 — Desempenho de edificações habitacionais, podendo melhorar o desempenho acústico e térmico, conforto tátil e a durabilidade do material [ABNT, 2013].

Mesmo com diversos estudos, várias características físico-químicas e mecânicas desta mistura são desconhecidas ainda, sendo necessário outros estudos para a verificação qualitativa deste material. Um dos grandes causadores da diminuição do desempenho da massa cimentícia é o efeito da carbonatação, no qual o CO₂ presente na atmosfera reage com a mesma. Esse efeito agravado pelo efeito estufa afeta o desempenho do material prejudicando o uso do mesmo como revestimento (MAZZA, 2015).

Em si a carbonatação não causa a deterioração da argamassa, no entanto, ao atingir a armadura, ocorre a despassivação da camada protetora do aço, assim desprotegendo o aço contra a ação do oxigênio e da água (HELENE, 1997; MOREIRA, 2016).

A carbonatação é uma reação de neutralização dos hidróxidos presentes no cimento hi-

dratado, reduzindo o pH para valores inferiores a 9. Essa diminuição de alcalinidade ocorre devido ao contato entre o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), na presença de água, com o dióxido de carbono (CO_2) presentes na atmosfera. O resultado dessa reação é a formação do carbonato de cálcio (CaCO_3), representada pela reação química 1 (SANTOS, 2014).



Essa pesquisa tem como objetivo a avaliação do desempenho da argamassa com adição de borracha reutilizada de pneus. Sendo verificado a partir dos ensaios: as propriedades físicas, mecânicas e químicas, tais como (resistência à compressão, resistência à tração indireta, consistência, densidade aparente, microscopia e carbonatação). Assim podendo avaliar a implementação deste material nas estruturas.

Essa pesquisa tem como objetivo a avaliação do desempenho da argamassa com adição de borracha reutilizada de pneus. Sendo verificado a partir dos ensaios: as propriedades físicas, mecânicas e químicas, tais como (resistência à compressão, resistência à tração indireta, consistência, densidade aparente, microscopia e carbonatação). Assim podendo avaliar a implementação deste material nas estruturas.

REFERENCIAL TEÓRICO

Com a necessidade de um desenvolvimento sustentável, a construção civil é um dos meios para solucionar alguns problemas de descartes de resíduos, devido ao alto poder de incorporação de materiais desse setor. Pelo fato do uso de matéria prima natural em seus agregados na construção civil, o meio vem buscando alternativas de uso de material reciclável que possa substituir ou incorporar os componentes usados na construção (RODRIGUES e FERREIRA 2009).

Pelo fato do aumento desenfreado do consumo de pneus, causado pela ascensão da indústria automobilística, o descarte inapropriado do pneu vem causando alto impacto ambiental além de afetar a saúde pública (RODRIGUES e FERREIRA 2009; PEDRO 2011).

Os estudos da reutilização dos resíduos de pneu comumente são realizados substituindo os agregados naturais contribuindo na redução do uso de elementos finitos (MARTINS 2005; BIGNOZZI e SANDROLINI 2004). Normalmente, a granulometria do pó de borracha utilizada abrange a mesma dimensão dos agregados miúdos já utilizados na produção de argamassa (MARTINS 2005).

A massa cimentícia com adição de borracha apresenta uma redução na resistência devido a diminuição de sólidos com capacidade de resistir esforços e a concentração de tensões o redor dos agregados de borracha (TOPÇU e AVCULAR 1997; SANTOS 2005). À microestrutura da mistura cimento-borracha apresenta uma zona de transição mais fraca quando comparada com a zona de transição cimento-areia fato que corrobora a diminuição da resistência (MARTINS 2005; TURATSINZE, BONNET e GRANJU 2004).

Analizando diversos estudos que a substituição parcial de areia por pó de borracha, na ar-

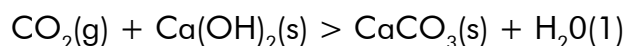
gamassa oferece alguns benefícios, como a melhora do módulo de elasticidade e da durabilidade, mesmo reduzindo a resistência a tração e compressão, obteve resultados promissores para a argamassa (PEDRO 2011; PINTO e FIORITI 2016).

Pelos resultados obtidos torna a incorporação de pó de pneu inservível à argamassa uma mistura interessante para atender a norma de desempenho NBR (Norma Brasileira de Regras) 15575 — Desempenho de edificações habitacionais, podendo melhorar o desempenho acústico e térmico, conforto tátil e a durabilidade do material (ANBT-NBR 15575 2013).

Mesmo com diversos estudos, várias características físico-químicas e mecânicas desta mistura são desconhecidas ainda, sendo necessário outros estudos para a verificação qualitativa deste material. Um dos grandes causadores da diminuição do desempenho da massa cimentícia é o efeito da carbonatação, no qual o CO₂ presente na atmosfera reage com a mesma. Esse efeito agravado pelo efeito estufa afeta o desempenho do material prejudicando o uso do mesmo como revestimento (MAZZA 2015).

Em si a carbonatação não causa a deterioração da argamassa, no entanto, ao atingir à armadura, ocorre a despassivação da camada protetora do aço, assim desprotegendo o aço contra ação do oxigênio e da água (HELENE 1997; MOREIRA 2016).

A carbonatação é uma reação de neutralização dos hidróxidos presentes no cimento hidratado, reduzindo o pH para valores inferiores a 9. Essa diminuição de alcalinidade ocorre devido ao contato entre o hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂), na presença de água, com o dióxido de carbono (CO₂) presentes na atmosfera. O resultado dessa reação é a formação do carbonato de cálcio (CaCO₃) (SANTOS 2014).



Essa pesquisa tem como objetivo a avaliação do desempenho da argamassa com adição de borracha reutilizada de pneus. Sendo verificado a partir dos ensaios: as propriedades físicas, mecânicas e químicas, tais como (resistência à compressão, resistência à tração indireta, consistência, densidade aparente, microscopia e carbonatação). Assim podendo avaliar a implementação deste material nas estruturas.

METODOLOGIA

Foram estudadas quatro composições de argamassa, contendo:

- Cimento Portland — CII 32 - Votoran
- Areia de rio passante na peneira de 1,19 mm, seca em estufa
- Água potável filtrada
- Pó de borracha passante em peneira de 0,59 mm — borracha triturada de pneus in-

O traço da argamassa utilizado foi de 1:2:0,5 de cimento, areia e água, com adição de pó de borracha na proporção de 0%, 1%, 3% e 5%, conforme a tabela 1

Tabela 1 — Composição das amostras.

Amostra	Cimento	Areia	Água	Borracha
S	1	2	0,5	0 %
S1%	1	2	0,5	1 %
S3%	1	2	0,5	3 %
S5%	1	2	0,5	5 %

Fonte: O autor

As argamassas foram confeccionadas utilizando um misturador mecânico (argamassadeira) seguindo os seguintes passos da NBR 7215 (ABNT-NBR 7215 1996).

Os índices de consistência das amostras foram testados conforme a NBR 13276 (ABNT-NBR 13276 2016).

A Moldagem dos corpos de prova foi conforme a NBR 7215 e NBR 13279 (FIGUEIRDO 2006; SILVA et al 2000), as amostras foram curadas por 28 dias em uma solução de hidróxido de cálcio.

Após a cura as amostras foram submetidas à ensaio de compressão axial, ensaio de tração indireta por compressão diametral, ensaio de microscopia ótica, ensaio de microscopia eletrônica de varredura.

O Ensaio de compressão Axial e compressão Diametral, foi realizado conforme a NBR 5739 (ABNT-NBR 5739 2007) e NBR 6118 (ABNT-NBR 6118 2003) respectivamente, sendo testados 10 amostras para cada ensaio, utilizando uma prensa hidráulica em uma velocidade de carregamento de (0,25+-0,5) MPa por segundo. Para definir a resistência a tração indireta do ensaio diametral foi necessário o uso da equação:

$$\sigma_{ct} = 0,9 \cdot \sigma_{ct.sp}$$

Onde:

σ_{ct} = Resistência à tração direta;

$\sigma_{ct.sp}$ = Resistência à tração indireta, medida no ensaio de compressão diametral.

Ensaio de densidade aparente, as amostras foram submersas em água fervente a 100 °C por 2 horas, conforme a NBR 6220 (ABNT-NBR 6220 1997). As amostras foram pesadas saturadas, úmidas e submersas, sendo que para definir a massa específica utilizou a equação:

$$MEA = \left(\frac{M_s}{M_u - M_i} \right) \cdot \rho$$

Onde:

MEA = massa específica aparente;

M_s = massa seca;

M_u = massa úmida;

M_i = Massa imersa;

ρ = Massa específica do fluido de imersão. (massa específica da água = 1 g/cm³)

Análise da microestrutura da argamassa obtida foi realizada por Microscopia Eletrônica de Varredura. O ensaio de carbonatação das argamassas foram realizados com amostra curadas em solução de hidróxido de cálcio por 28 dias e em seguida expostos por 28 dias em câmara com flux constante de dióxido de carbono gasoso. Usou-se solução de fenolftaleína para evidenciar as áreas carbonatadas de acordo com o pH das amostras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da análise granulométrica da areia seca é apresentado na tabela 2, neste ensaio determinou-se o módulo de finura do agregado miúdo (areia) que resultou em 2,67. De acordo com a NBR 721, o módulo de finura da areia encontrado no ensaio está localizado na zona ótima, sendo considerado um material bom para a produção de argamassas (ABNT-NBR 721 2005).

Tabela 2 - Distribuição granulométrica da arcia.

Peneira	Peneira (mm)	Massa Retida (g)	% Retida	% Retida Acumulada	Peso Passante	% Passante
4	4,750	0,000	0,000	0,000	445,421	100,000
8	2,360	0,000	0,000	0,000	445,421	100,000
16	1,180	0,737	0,165	0,165	444,684	99,835
30	0,600	120,417	27,034	27,200	324,267	72,800
50	0,300	108,611	24,384	51,584	215,656	48,416
100	0,150	161,300	36,213	87,797	54,356	12,203
FUNDO	FUNDO	54,356	12,203	100,000	-	-
TOTAL		445,421	100,000	266,746	-	-
Dimensão máxima (mm) = 1,180						
Módulo de finura = 2,67						

Fonte: O autor.

O resultado da análise granulométrica do pó de borracha é apresentado na tabela 3, neste ensaio determinou-se o módulo de finura do pó de borracha utilizado na formulação de argamassas que resultou em 3,60.

Na análise da borracha utilizada na argamassa foi verificado que a dimensão máxima é de 1,18 mm, assim não ultrapassando a dimensão máxima de 4 mm afetam negativamente nas propriedades dos compostos cimentícios, pois afetam a aderência entre a borracha e a matriz de cimento, devido a esse fator seu uso se torna inviável (ALBUQUERQUE et al 2002).

Tabela 3 - Distribuição granulométrica da borracha

Peneira	Peneira (mm)	Massa Retida (g)	% Retida	% Retida Acumulada	Peso Passante	% Passante
4	4,750	0,000	0	0,000	575,811	100,000
8	2,360	0,000	0	0,000	575,811	100,000
16	1,180	1,983	0,3444	0,344	573,828	99,656
30	0,600	384,564	66,786	67,131	189,264	32,869
50	0,300	152,190	26,431	93,561	37,074	6,439
100	0,150	33,440	5,8075	99,369	3,634	0,631
FUNDO	FUNDO	3,634	0,6311	100,000	-	-
TOTAL		575,811	100	360,405	-	-
Dimensão máxima (mm) = 1,180						
Módulo de finura = 3,60						

Fonte: O autor

O índice de plasticidade da argamassa em relação com a argamassa S sem adição de borracha, a amostra que obteve um melhor resultado foi a amostra S1%, que as amostras S3% e S5%, com maior porcentagem do pó de borracha, diminui a trabalhabilidade da argamassa, como pode

ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 — Resultado do índice de consistência da areamesse.

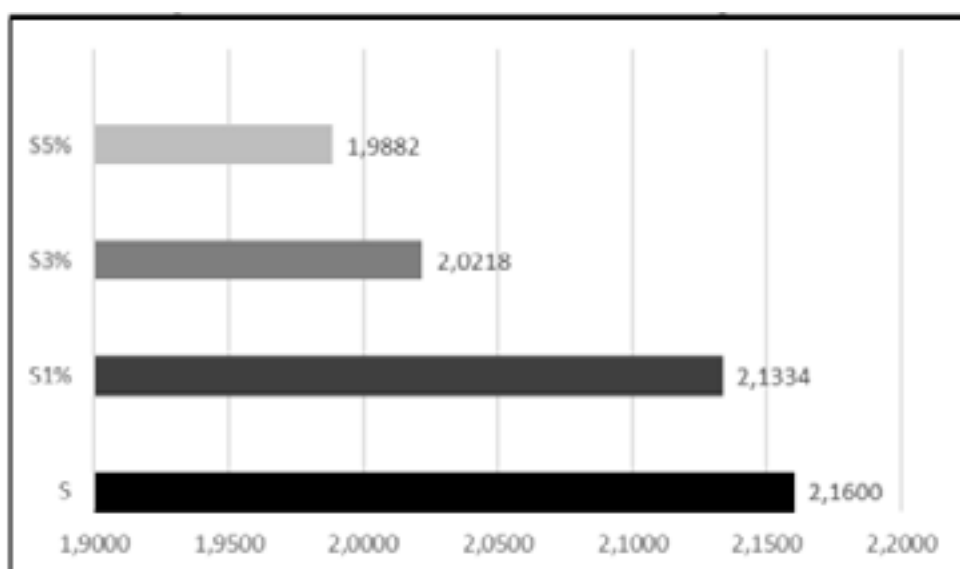
Amostra	Índice de Consistência(mm)
S	197,3
S1%	168,6
S3%	137,6
S5%	136,4

Fonte: O autor.

Conforme os ensaios, notou-se perdas de até 30% do índice de consistência da argamassa com adição de borracha, sendo necessário a adição de aditivos para melhorar o índice de consistência quando comparado a amostra S.

O ensaio de densidade aparente confirmou que as amostras com a adição de borracha apresentam menor densidade figura 1. Devido à baixa densidade da borracha comparado com os agregados utilizados.

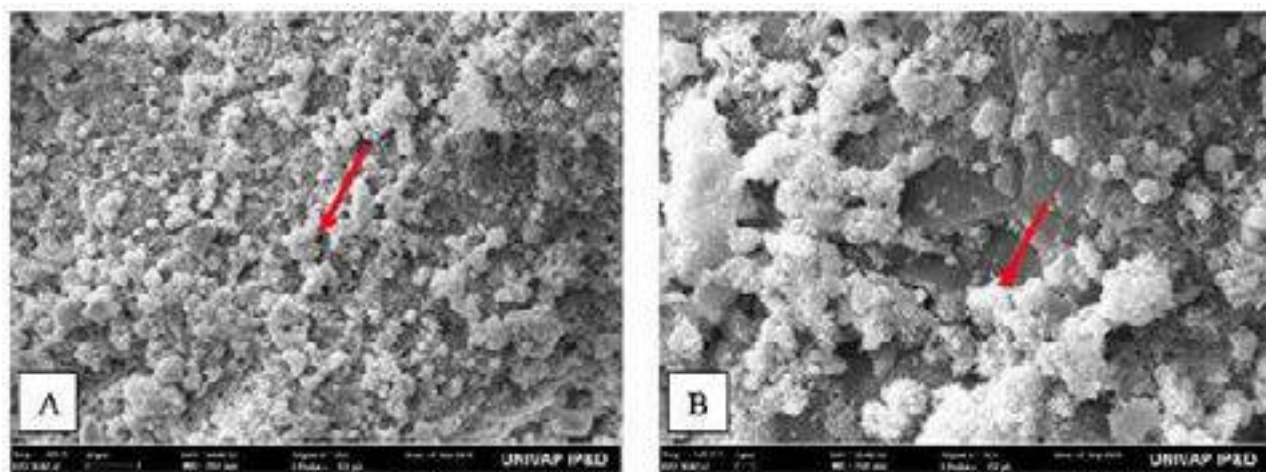
Figura 1 — Resultado da determinação densidade aparente



Fonte: O autor

Os resultados do ensaio da microscopia eletrônica estão apresentados na Figura 2,3,4 e 5.

Figura 2 - Microscopia eletrônica de varredura da amostra S. Aumento de 500x (A) e 1,6Kx (B).

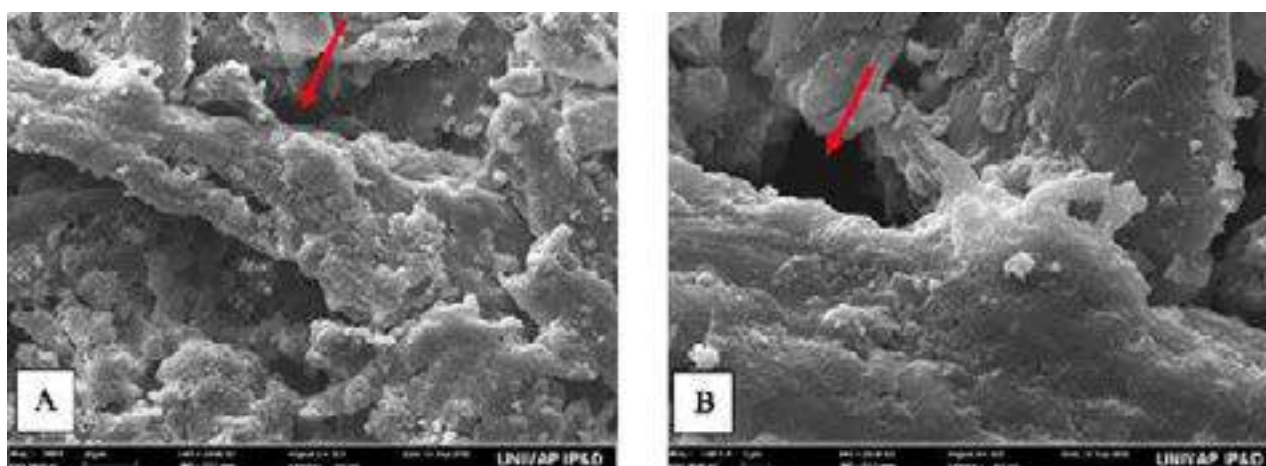


Em análise na amostra S, apresentada na figura 2, os componentes da argamassa apresentaram uma mistura homogênea, podendo identificar o crescimento de cristais prismáticos que interligam os componentes conforme apontado pela seta, diminuindo significativamente o índice de vazio do material.

Na amostra S1%, S3% e S5%, apresentadas respectivamente nas figuras 3, 4 e 5, a borracha se apresenta como um material inerte, assim aumentando o índice de vazio da amostra.

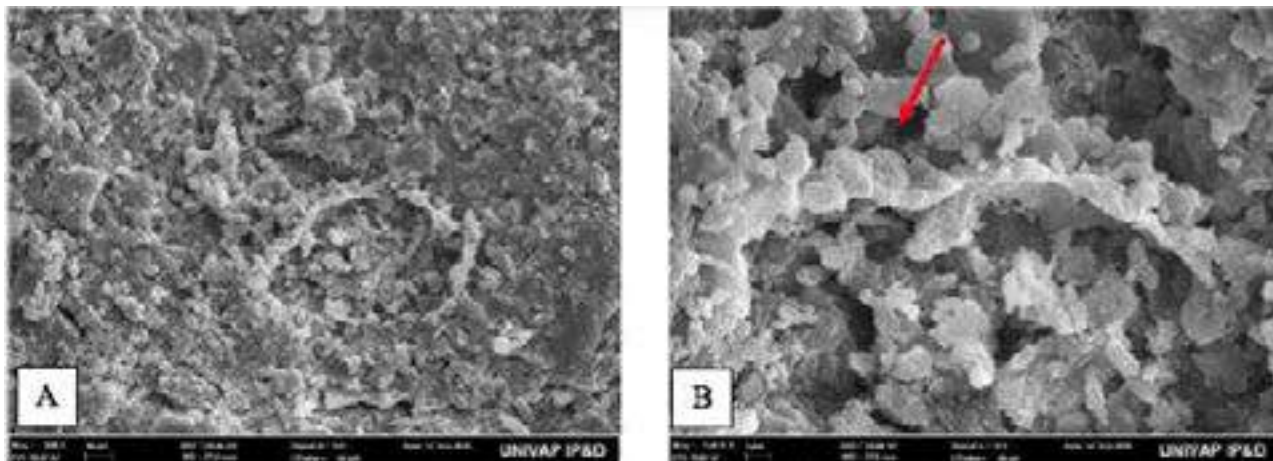
O aumento do índice de vazios conforme apontado pela seta, é um dos influenciadores da diminuição da massa específica aparente comprovada nos testes realizados além da baixa massa específica aparente da borracha quando comparado à areia.

Figura 3 - Microscopia eletrônica de varredura da amostra S1%. Aumento de 500x (A) e 1,6Kx (B).



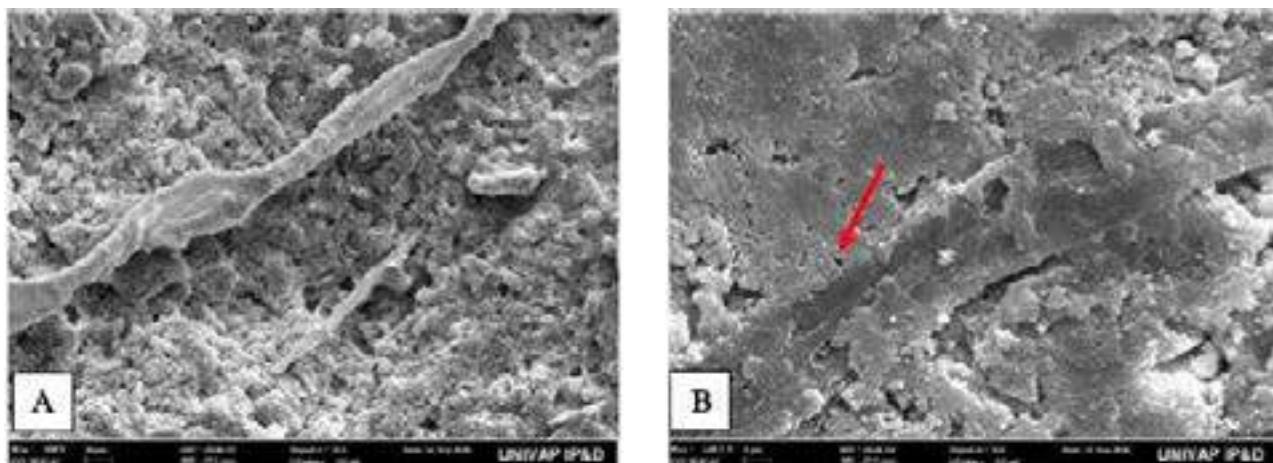
Fonte: O autor.

Figura 4 - Microscopia eletrônica de varredura da amostra S3%, Aumento de 500x (A) e 1,6Kx (B).



Fonte: O autor

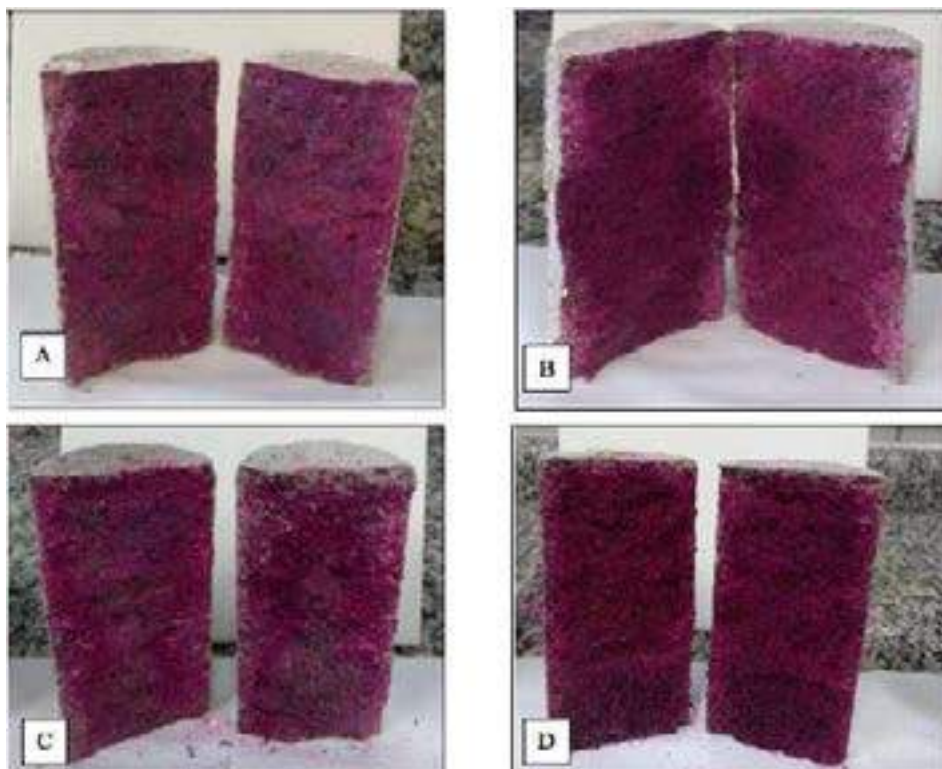
Figura 5 - Microscopia eletrônica de varredura da amostra S5%, Aumento de 500x (A) e 1,6Kx (B).



Fonte: O autor.

Os resultados dos ensaios de carbonatação estão mostrados na figura 6 e na tabela 5.

Figura 6 — Ensaio de Carbonatação (Segundo teste). Amostra S (A), S1% (B), S3% (O) e S5%(D).



Fonte: O autor.

Nas amostras S e S1% a carbonatação ocorreu somente na parte lateral e superior respectivamente, já nas amostras com maior quantidade de partículas de borracha como a S3% e a S5% a carbonatação atingiu toda a superfície do corpo de prova. À carbonatação sofrida nos corpos de prova com maior concentração de borracha se deu pela maior quantidade de índices de vazios gerados pela adição do resíduo. Devido ao processo de cura úmida teve uma menor porcentagem de porosidade, assim minimizando a permeabilidade do gás carbono.

Tabela 5 — Profundidade da reação da carbonatação.

Amostra	Tonalidade rosa	Borda Superior (mm)	Lateral (mm)
S	Forte	-	6,28
S1%	Forte	4,12	-
S3%	Médio	4,5	3,22
S5%	Médio	5,5	3,78

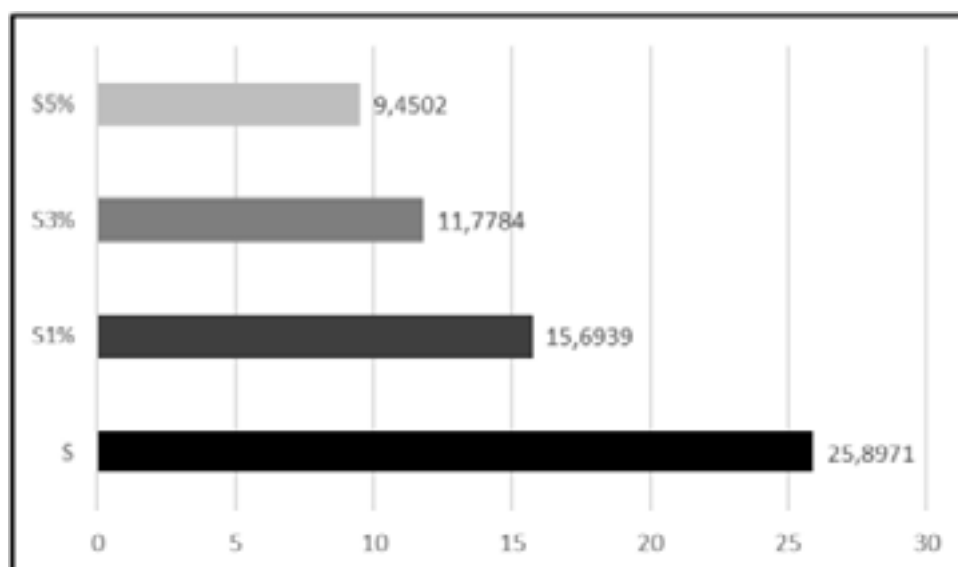
Fonte: O autor

Nos testes de resistência a compressão e a resistência a tração indireta, foram testadas 10 amostras para cada composição de amostra, os resultados estão apresentados na figura 7. Na resistência a compressão as amostras S1%, S3% e S5% reduziram a resistência respectivamente, comparando com a amostra S, 39,40%, 54,52%, e 63,51%.

A diminuição da resistência conforme a adição de borracha está relacionada ao aumento da quantidade de vazios gerados, além dos esforços concentrados ao redor dos agregados de borracha que, por sua vez apresentam uma zona de transição bastante frágil.

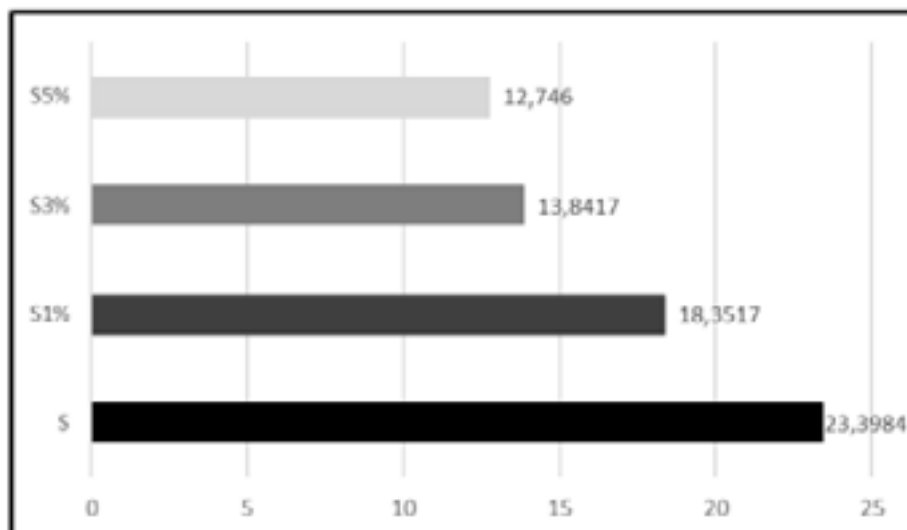
Nas amostras S1%, S3% e S5% verificou-se, respectivamente, uma redução de 21,52%, 40,43% e 45,06% na resistência à tração na compressão, figura 8. Analisando esses dados, observou-se que a variação da resistência à tração na compressão em relação ao teor de borracha incorporado não seguiu um comportamento linear. A redução da resistência a tração indireta apresentou uma menor diminuição quando comparado a resistência à compressão.

Figura 7 — Resultado da determinação da resistência à compressão.



Fonte: O autor

Figura 8 — Resultado da determinação da resistência à tração na compressão.



Fonte: O autor

CONCLUSÃO

Conclui-se a partir da comparação do comportamento das amostras com adição de borracha com uma argamassa de referência, que esta mistura afeta as propriedades mecânicas de forma danosa, causando a queda significativa tanto na resistência à tração quanto na resistência à compressão.

Pelo ensaio por microscopia eletrônica de varredura pode-se observar a presença de grandes poros interconectados na massa cimentícia o que favorece a permeabilidade de gases e umidade no interior das peças conformadas. Observou-se que a partícula da borracha não interage com os demais componentes da argamassa, gerando um maior índice de vazios, acelerando o processo de degradação da argamassa, fato evidenciado no ensaio de carbonatação.

A carbonatação não causa a deterioração dos elementos cimentícios, no entanto a argamassa com adição de borracha não é indicada para ser usada com armadura de aço, pois poderá favorecer a corrosão da mesma devido aos poros presentes no material que permitem a permeabilidade de gases e umidade, podendo ocorrer riscos estruturais.

O pó de borracha, por ser um material elástico e impermeável, afeta o índice de consistência da argamassa, sendo necessário o uso de aditivos apropriados para melhoria da trabalhabilidade. A implementação de resíduos de borracha na argamassa resulta na diminuição tanto da resistência a compressão quanto da resistência à tração. A adição da borracha é recomendável na construção de elementos não estruturais, sendo beneficiada pela menor densidade aparente da argamassa com a sua adição, podendo ser aplicada em pisos em locais de passagem de cargas leves, enchimento de vazios.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A.C; ANDRADEM.A. S; NETO, MOMS; CORREA MIF; CARDOSOC.G.; MACEDO D.C.B.; CALMONIL. Concreto com borracha de pneu: uma revisão bibliográfica. 440 Congresso Brasileiro do Concreto, Belo Horizonte, 2002.

ASSOCIAÇÃO — BRASILEIRA — DE . NORMAS — TÉCNICAS NBR 13276/16: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — determinação da resistência à tração na flexão e a compressão. Rio de Janeiro. 2016

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575/13: Desempenho de edificações habitacionais. Rio de Janeiro. 2013

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739/07 — Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro. 2007

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118/03 — Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro. 2003

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6220/97 — Materiais refratários densos conformados - Determinação do volume aparente, densidade de massa aparente, porosidade aparente, absorção e densidade aparente da parte sólida. Rio de Janeiro. 1997

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211/05 — Agregados para concreto — Especificação. Rio de Janeiro. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215/96 — Cimento Portland — Determinação da resistência à compressão — Método de ensaio. Rio de Janeiro. 1996
based mortar incorporating rubber aggregates from recycled worn tyres. Building and environment, p.1-6, 2004.

BIGNOZZI, M. C; SANDROLINI, F. Recycling tire rubber in building materials. In International Conference Sustainable Waste Management and Recycling: Challenges and Opportunities, 2004, Inglaterra. Anais Inglaterra: Kingston, 2004.

FIGUEIREDO, E.P. Efeito da carbonatação e de cloretos no concreto. IN: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2006. 2v. Cap 27, p.829-855.

HELENE, Paulo Roberto Lago. Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto. São Paulo: Pini, 1997

MARTINS, I. R, F. Concreto de alto desempenho com adição de resíduos de borracha de pneu. Universidade estadual paulista. Ilha solteira, 2005.

MAZZA, Roger. Carbonatação acelerada de concretos com cinza de casca de arroz sem moagem. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 100 f., 2015

MOREIRA, . D. Verificação de profundidade de carbonatação em estruturas de concreto — estudo de caso. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2016.

PEDRO, D. A. G. Desempenho de argamassas fabricadas com incorporação de materiais finos provenientes da trituração de pneus. 2011, 155 f. Dissertação (Mestrado) — Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011

PINTO, Nayra Alberci; Fioriti, Cesar Fabiano. Avaliação de argamassas mistas de revestimento produzidas com borracha de pneus. Tecno-Lógica. Santa Cruz do Sul, v.20, n. 2, 103-110 p. Jul/Dez. 2016.

RODRIGUES, M. R. P.; FERREIRA, O. P. Compósito cimentício com adição de partículas de borracha de pneus inservíveis. Revista Minerva — Pesquisa & Tecnologia, Vol. 3, n. 3, p. 255-261. 2009.

SANTOS, A. C. Avaliação do comportamento do concreto com adição de borracha obtida a partir da reciclagem de pneus com aplicação em placas pré-moldadas. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia [Civil] — Universidade Federal de Alagoas. Maceió. 2005.

SANTOS, C. F. Patologia de estruturas de concreto. Centro de tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2014.

SILVA, E. et al. Análise da Durabilidade dos Materiais Empregados para Reparo/Reforço em Estruturas de Concreto Armado. In: Congresso Internacional sobre o Comportamento de Estruturas Danificadas — DAMSTRUC, 2, 2000, Niterói. 2000.

TOPÇU, LB — &AVCULARN(1997, . CollisionBehavioursofRubberizedConcrete; <http://www.periodicos.capes.gov.br/>, acesso em: 09/08/2018.

TURATSINZE, A.; BONNET, S.; GRANIU, J. L. Mechanical characterisation of cementbased mortar incorporating rubber aggregates from recycled worn tyres. Building and environment, p.1- 6,2004.

TÉCNICAS COMPUTACIONAIS 3D E A UTILIZAÇÃO DE NOVOS MATERIAIS NO DESENVOLVIMENTO DE MODELOS PARA INDÚSTRIA CERÂMICA

Prof. Me. Adriano José Sorbille de Souza

Doutorando pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo - PUC

Centro Universitário Teresa D'Ávila — UNIFATEA

RESUMO

A competitividade das empresas faz com que os produtos tenham que ter qualidades e características que os tornem inovadores em relação aos seus similares. A redução do tempo de desenvolvimento de produtos a melhora da qualidade dos processos com o objetivo de melhorar a competitividade tem obrigado as empresas utilizarem cada vez mais ferramentas e técnicas computacionais no projeto nos projetos conceituais, nas análises, nas simulações e nos modelos prototipados. A prototipagem Rápida em comparação com outros processos de fabricação pode trazer algumas vantagens em relação a construção principalmente de modelos, mock-up entre outros. A contribuição desses sistemas no modelamento geométrico, no detalhamento dos desenhos na análise estética, nas simulações estrutural, térmica, no projeto de ferramentas e matrizes, na integração com o sistema CAM entre outros.

No setor da indústria cerâmica a utilização desse processo auxiliou a confecção de modelos, moldes e matrizes que tradicionalmente é feito a partir de métodos artesanais dos modelos para geração das matrizes. Esse projeto propôs a aplicação de técnicas de modelamento virtual 3D em substituição a modelagem tradicional "artesanal", com a utilização de equipamentos e tecnologias de prototipagem rápida nas confecções dos modelos que serão a base para produção das matrizes. O resultado foi um ganho significativo de tempo no processo de confecção dos modelos impactando tanto na produção e também na qualidade das peças finais.

Palavras-chave: Design, Cerâmica, Prototipagem 3D, Processos.

ABSTRACT

The competitiveness of companies means that products have to have qualities and characteristics that make them innovative compared to their peers. Reducing product development time and improving process quality in order to improve competitiveness has forced companies to increasingly use computational tools and techniques in design, conceptual design, analysis, simulations and prototyped models. Rapid prototyping compared to other manufacturing processes can have some advantages over building mainly models, mock-up among



others. The contribution of these systems in the geometric modeling, the detailing of the drawings in the aesthetic analysis, the structural, thermal simulations, the design of tools and dies, the integration with the CAM system among others. In the ceramic industry sector, the use of this process has helped the making of models, molds and dies, which is traditionally made from handmade methods of the models to generate the dies. This project proposed the application of 3D virtual modeling techniques to replace traditional "artisanal" modeling, using rapid prototyping equipment and technologies in the making of models that will be the basis for the production of the matrices. The result was a significant time saving in the model making process impacting both the production and the quality of the final parts.

Keywords: Design, Ceramics, 3D Prototyping, Processes.

INTRODUÇÃO

As etapas do processo de desenvolvimento de produtos industriais são compostas pela descoberta e identificação das necessidades dos usuários e suas delimitações, a idealização de novas soluções possíveis levando em consideração requisitos e restrições, métodos de fabricação, análises, testes até o descarte do produto.

Volpato (2007), afirma que as empresas de sucesso são aquelas que conseguem identificar com precisão as necessidades dos usuários e rapidamente desenvolver produtos que atendam a demanda solicitada, levando em consideração estética a estética, qualidade, custo, funcionalidade entre outros.

A competitividade das empresas faz com que os produtos tenham que ter qualidades e características que o tornem inovadores em relação aos seus similares. Segundo Löblich (2001), no início da industrialização os produtos eram impostos aos usuários e havia demanda suficiente e garantida, ou seja, o usuário não tinha opções de escolha. Na atualidade as indústrias buscam soluções inovadoras para se destacar frente a concorrência, manter ou aumentar sua posição no mercado.

A redução do tempo de desenvolvimento de produtos a melhora da qualidade dos processos com o objetivo de melhorar a competitividade tem obrigado as empresas utilizarem cada vez mais ferramentas e técnicas computacionais no projeto nos projetos conceituais, nas análises, nas simulações e nos modelos prototipados. (Volpato et al, 2007)

Metodologias de desenvolvimento e gestão de produtos são fundamentais para que a elaboração e execução do projeto tenham sucesso somando o problema ou as necessidades com mais facilidade. Esse processo de projetar, construir, testar e otimizar é feito em ciclos até a documentação e homologação do produto.

Segundo Rozenfeld (2005), os processos de pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento de produtos engloba cálculos, orçamentos, desenhos detalhados, planejamento de manufatura, lançamento do produto no mercado, manutenção, parcerias, fornecedores entre outros.

Dentro do processo de gestão de desenvolvimento de produtos a metodologia de design contribui para a otimização e diminuição de erros de projeto. O design de produtos é um dos braços da disciplina de design que desde o início da industrialização vem colaborando na otimização dos produtos e processos industriais, tanto no desenvolvimento de novos produtos como no redesenho dos antigos.

Uma das principais características da metodologia de design para desenvolvimento de produtos é a utilização de protótipos durante todo o processo, a partir da identificação e delimitação das necessidades do usuário e verificação de como os concorrentes administram essas necessidades é possível gerar soluções através de protótipos. Na prototipagem podem ser realizados testes e prever erros e falhas em contextos variados, como por exemplo: estético, formal, estrutural, funcional

entre outros.

Segundo Volpato et. al. (2007), o desenvolvimento de projeto utiliza de recursos tecnológicos computacionais como por exemplo sistemas CAD/CAM (Desenho Auxiliado por Computados e Manufatura Auxiliado por Computados). Esses sistemas computacionais criam modelos tridimensionais que acelera e facilita o entendimento e a inserção de produtos no mercado, além disso facilita a criação de protótipos físicos com maior rapidez, precisão e geometria complexas com qualidade e fidelidade ao projeto. O desenvolvimento de produtos usa frequentemente modelos e protótipos físicos, eles são úteis nos ensaios dos produtos no planejamento da produção, no layout da fábrica, no set-up das máquinas entre outros. Permitem observar a forma, cores, texturas além da avaliação ergonômica, experiências funcionais do produto pelo usuário ajudam no entendimento cognitivo do produto com mais facilidades do que nos esboços tridimensionais.

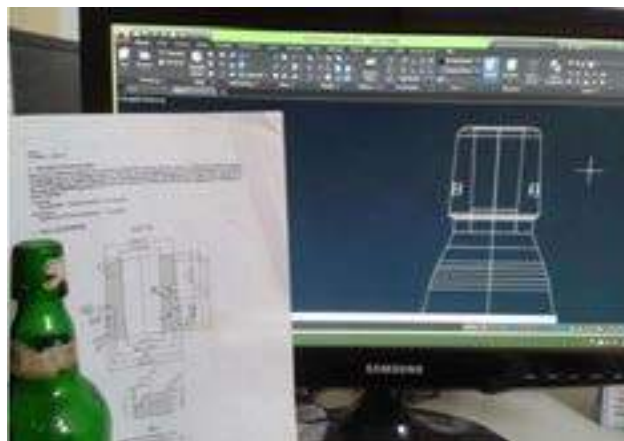
Figura 1— Modelo virtual criado em sistemas CAD.



Fonte: Autor

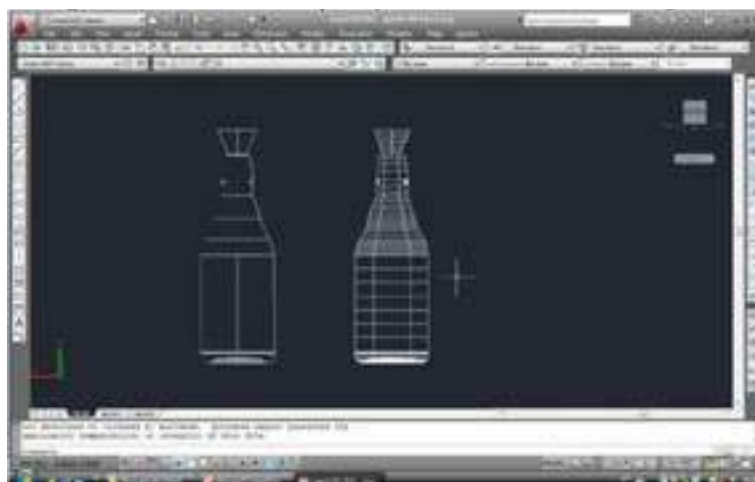
A criação de modelos físicos é fundamental, pois nos modelos virtuais não é possível uma integração direta embora exista grande utilidade na utilização de modelos virtuais, como por exemplo, no estudo de cores, texturas, análises e simulação dos materiais empregados. A prototipagem Rápida em comparação com outros processos de fabricação pode trazer algumas vantagens em relação a construção principalmente de modelos, mock-up entre outros. Volpato et. al. (2007), afirma que, “a prototipagem rápida pode ser definida como um processo de fabricação através da adição de material em forma de camadas planas sucessivas”. Segundo Gorni (2001), os dados gerados a partir dos sistemas CAD possibilitam uma fonte de dados para a fabricação direta dos protótipos. Esse sistema juntamente com equipamentos de impressão 3D permitem aos projetistas produzir os modelos virtuais e protótipos físicos rapidamente com baixo custo que permitam análises visuais para discussões sobre a estética, testes funcionais e ergonômicos do produto entre outros. Em todas as fases do processo de desenvolvimento de produtos o sistema CAD com suas características de concepção de elementos tridimensionais pode ser utilizado.

Figura 2 — Esboço e detalhamento técnico de garrafas cerâmicas.



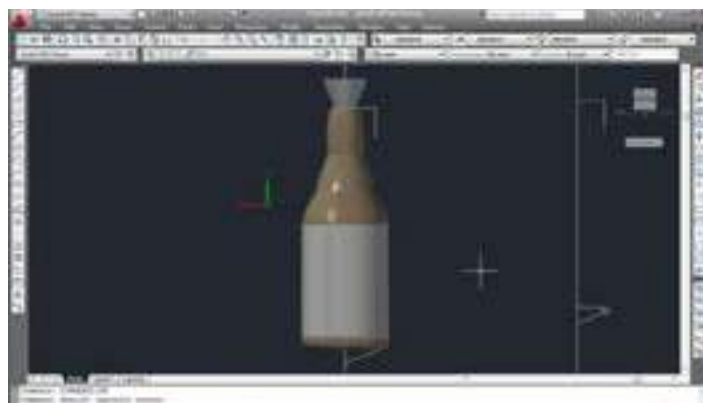
Fonte: autor

Figura 3 — Desenvolvimento do protótipo virtual em software com tecnologia 3D



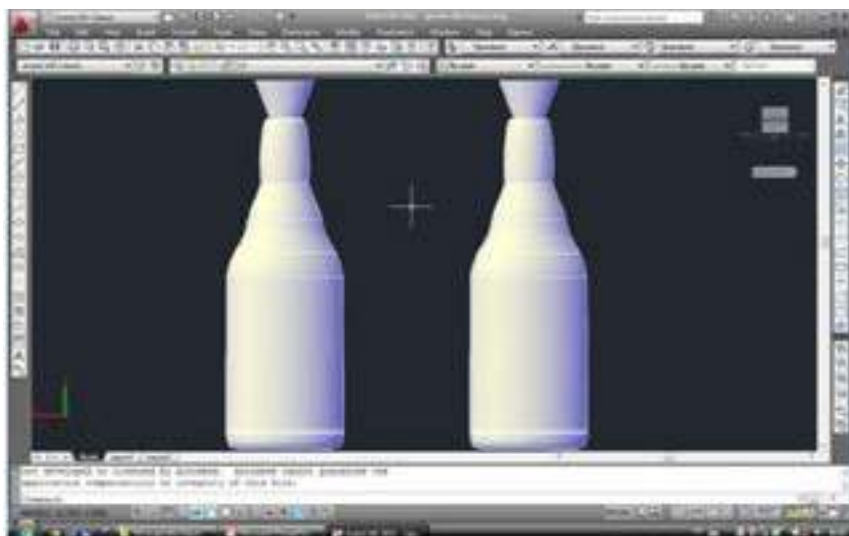
Fonte: autor

Figura 4 — Desenvolvimento do protótipo virtual com aplicação de texturas conceituais.



Fonte: autor

Figura 5 — Acabamento do protótipo virtual com aplicação de texturas conceituais.



Fonte: autor

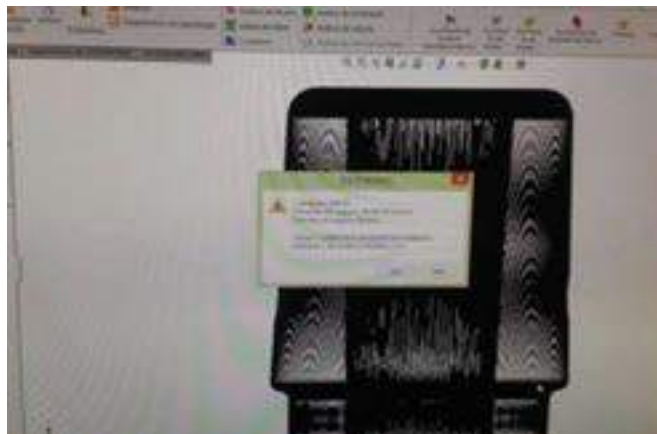
Figura 6 — Render do protótipo virtual com aplicação de texturas realistas.



Fonte: autor

A partir do modelo 3D criado no sistema CAD é gerado arquivos computacionais de saída para impressoras 3D no formato STL (Stereolithography), que gera uma reprodução em malha triangular do modelo 3D. Esse arquivo STL é interpretado pela grande maioria de equipamentos de impressão 3D, possibilitando a confecção do modelo em um tempo relativamente pequeno com desenvolvimento preciso e um bom acabamento, além da possibilidade do armazenamento e edição dos modelos computacionais tridimensional.

Figura 7 — Geração dos arquivos de impressão STL no sistema CAD



Fonte: autor

Figura 8 — Visualização dos arquivos de impressão STL para impressão



Fonte: Próprio Autor.

Fonte: autor.

Figura 9 — Protótipo de material polimérico impresso (vermelho) e os pilotos em cerâmica para testes.



Fonte: autor

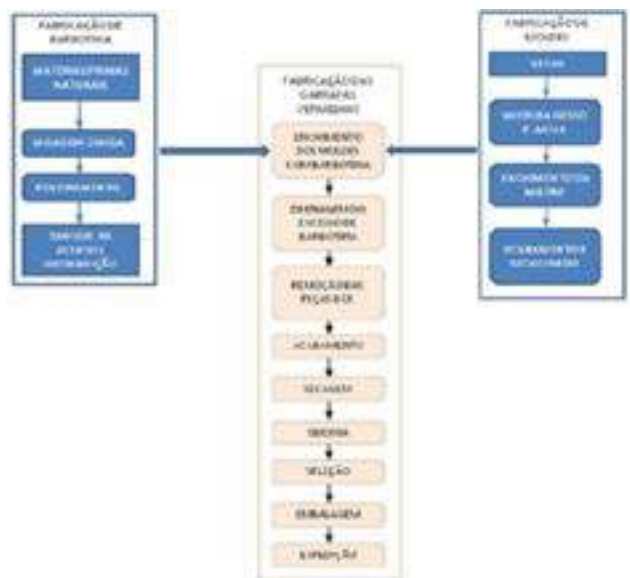
Figura 10 — Peça cerâmica finalizada com decoração personalizada.



Fonte: autor

No setor da indústria cerâmica a utilização desse processo auxiliou na confecção de modelos, moldes e matrizes que tradicionalmente são feitos a partir de métodos artesanais. O problema do método artesanal ou semi-artesanal é que toda vez que se necessita de ajuste o trabalho é demorado e custoso, isso quando não tem que recomeçar todo processo. Na utilização dos sistemas eletrônicos de modelagem CAD 3D as alterações são feitas diretamente no arquivo eletrônico do projeto agilizando todo processo. A aplicação desse sistema foi utilizada e testada no processo de produção de peças cerâmicas denominadas “colagem” ou “barbotina”, que é um processo de fundição onde são necessários modelos tridimensionais, moldes, vazamentos e acabamento das peças. O início desse processo se dá com a produção dos modelos que podem ser de diversos materiais como, por exemplo, em madeira, argila, gesso ou polímeros que são confeccionados pelos modelistas, e a partir dos modelos são geradas as matrizes e moldes para se produzir peças em escala industrial.

Figura 11 — Esquema do processo de produção cerâmico de “colagem”



Fonte: autor.

Esse projeto realizado propôs a aplicação de técnicas de modelamento virtual 3D em substituição a modelagem tradicional “artesanal”, com a utilização de equipamentos e tecnologias de prototipagem rápida nas confecções dos modelos que serão a base para produção das matrizes. O processo foi desenvolvido em uma indústria cerâmica localizado na região do Vale do Paraíba em São Paulo, especializada em linhas de embalagens para envasamento de material líquido com bebidas, perfumes, temperos entre outros. As peças são ocas e produzidas por colagem de borbotina.

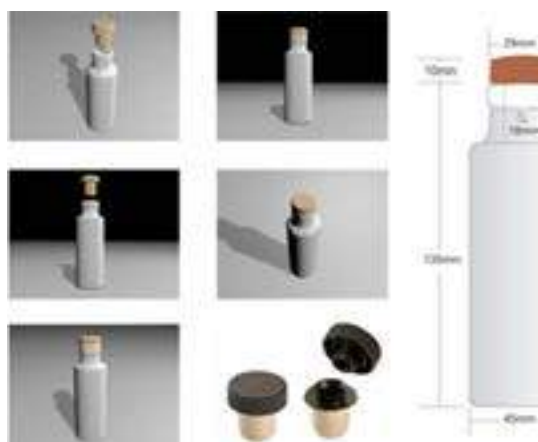
Figura 12 — Modelos tradicionais de madeira feitos artesanalmente



Fonte: Próprio autor.

As etapas do processo se resumem ao desenvolvimento do design das peças, sua adequação as normas ABNT, dimensionamento para as tampas padronizadas pelo mercado e aos tipos de vedações. Em seguida foi gerado esboços do produto para servir de base do protótipo 3D e a confecção do modelo físico que anteriormente era confeccionado manualmente por um modelista de forma semi-artesanal e agora através do modelagem e impressão 3D. Após a aprovação do modelo e dos testes pilotos são desenvolvidas as matrizes para a produção dos moldes de vazamento (fundição) da argila líquida, em seguida ocorre a conformação e a secagem para que seja possível a queima.

Figura 13 — Desenvolvimento do design das peças cerâmicas.



Fonte: Próprio autor.

O processo de “Colagem” consiste em vaziar a argila líquida em um molde de gesso, onde permanecerá durante um tempo determinado até que a água contida na argila seja absorvida pelo gesso; formando a parede da peça. O produto assim formado apresentará uma configuração externa que reproduz a formato interno do molde de gesso.

Figura 14 — Matriz (azul) para produção dos moldes em gesso



Fonte: autor

Figura 15 — Processo de Fundicao em moldes de gesso.



Fonte: autor

Figura 16— Desmoldagem — Retirada da peça do molde



Fonte: autor.

O processamento de queima é fundamental para obtencao dos produtos ceramicos, pois dele dependem o desenvolvimento das propriedades finais destes produtos. Nessa operacao, conhecida tambem por sinterizacao, os produtos adquirem suas propriedades finais, esse tratamento compreende as etapas de secagem e queima. As peeps, apps secagem, sap submetidas a urn tratamento termico a temperaturas elevadas, em fornos continuos ou intermitentes que operam em tr8s fases:

- 1 - Aquecimento da temperatura ambiente ate a temperatura desejada;
- 2 - Patamar durante certo tempo na temperatura especificada;
- 3 - Resfriamento ate temperaturas inferiores.

Figura 17 — Processo de queima.



Fonte: autor

O acabamento é feito com esmalte ou vidrado, que formam uma camada vitrea, delgada e continua. O objetivo desse processo é aprimorar a estetica, tornar o produto impermeavel, melhorar a resistencia mecanica e propriedades eletricas entre outros fatores.

Figura 18 — Acabamento corn a utilizacao de esmalte (bronco\ e sem esmalte (terra cota).



Fonte: autor

RESULTADOS

Os resultados alcançados com a mudança de processo foram significativos no que diz respeito ao tempo de projeto. No processo artesanal o tempo médio para o desenvolvimento era de quase dois meses desde o início do projeto até o protótipo piloto, com custos elevados por conta do deslocamento, dos materiais utilizados, da mão de obra especializada entre outros. O tempo com a utilização dos protótipos virtuais e modelos produzidos a partir de impressoras 3D diminuíram quase 75% em relação ao artesanal e os valores investidos no projeto em torno de 50% com a diminuição de erros e retrabalhos.

CONCLUSÃO

O resultado foi um ganho significativo de tempo do processo de confecção dos modelos impactando tanto na produção, quanto na qualidade das peças finais. A utilização de novas tecnologias no setor industrial proporciona mais agilidade e menos custos de projeto que tem impactos na produtividade das peças e na sua qualidade.

.

REFERÊNCIAS

BAXTER, Mike. Projeto de produto, Guia prático para o design de novos produtos. Ed. Edigard Blucher, 1998.

CALLISTER, W. D. Jr. Ciencia e engenharia de materiais: uma introducao. 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Tecnicos e Cientificos. 2002. 589 p.

GORNI, A. A. Introducao a Prototipagem Rapida e seus Processos. Editor Tecnico, Revista Plastico Industrial. Mar. 2001. pag. 230-239. Disponivel em: <<http://www.gorni.eng.br/protrap.html>>. Acesso em: 08 Mar. 2019.

LOBACH, Bernad. Design Industrial. Sao Paulo: Edgard Bliicher. 2001.

ROZENFELD, H. et al. Gestao de desenvolvimento de produtos: uma referencia para a melhoria do processo. Sao Paulo: Saraiva, 2006.

VOLPATO, Neri. Prototipagem Rapida: Tecnologia e aplicacoes. Sao Paulo: Edgard Blucher, 2007.

NANOARTE, MATERIAIS E FILOSOFIA: CONEXÕES EMERGENTES

Prof. Dr. Wellington de Oliveira

Programa de Pós-Graduação em Design, Tecnologia e Inovação -PPG-DTI

RESUMO

Este artigo apresenta reflexões sobre arte, ciência e tecnologia, analisando-se uma experiência desenvolvida com nanoarte em um laboratório de materiais, texturas e modelagens. Com base nas concepções de arte e ciência presentes na filosofia de Gilles Deleuze, investiga-se o entrelaçamento de conexões, explorando os limites conceituais e os diversos significados da nanoarte, em seu desenvolvimento, a partir de um processo em que arte e ciência revelam seus desdobramentos, tornando possível uma repercussão intrínseca em seus domínios das linhas de interferência e completude entre elas próprias. Nesse sentido, o trabalho com a nanoarte revelou-se para os campos em que se inseriu como uma manifestação transdisciplinar entre arte, ciência e tecnologia, que por meio da captação imagética dos materiais possibilitou uma maneira mais atraente e eficaz de conscientizar o público em geral sobre a nanotecnologia e seu impacto em nossas vidas.

Palavras-chave: Nanoarte; Ciência dos materiais; Filosofia e Deleuze.

ABSTRACT

This paper aims to present reflections on art, science and technology, analyzing an experiment developed with nanoart in a laboratory of materials, textures and modeling. Focused on the conceptions of art and science in the philosophy of Gilles Deleuze, it investigates the interweaving of connections, exploring the conceptual boundaries and the various meanings of nanoart in their development, from a process in which art and science reveal their unfolding, making possible an intrinsic repercussion in their domains of lines of interference and completeness between themselves. In this sense, the work with nanoart revealed itself to the fields in which it was inserted as a transdisciplinary manifestation between art, science and technology, that by means of the imagistic capture of the materials became possible an attractive and effective way of raising public awareness in general about nanotechnology and its impact on our lives.

Keywords: Nanoart ; Science of materials; Philosophy and Deleuze.



INTRODUÇÃO

O objetivo deste artigo é apresentar algumas reflexões sobre arte, ciência e tecnologia, analisando uma experiência desenvolvida com nanoarte no Laboratório de Materiais, Texturas e Modelagens Vilson Kindlen Jr do Centro Universitário Teresa D'Ávila -UNIFATEA.

Para a consecução desse objetivo, recorrer-se-á ao pensamento de Gilles Deleuze sobre a relação arte e ciência, relacionando esse pensamento com a Natureza e os materiais em forma de uma composição, pois como afirma o próprio autor, para pensar a arte faz-se necessária uma composição com o algo externo, isto é, com forças exteriores à própria arte, uma vez que a arte é uma disciplina extremamente criadora e, como tal, mantém uma relação de troca e de intimidade com outros domínios da criação, como a ciência e a filosofia.

Para discutir a questão proposta, o artigo está organizado em três partes. A primeira em que abordaremos as ideias da filosofia de Gilles Deleuze; a segunda em que se trata da Nanotecnologia e Nanoarte e a terceira em que se discute a partir do contexto metodológico de uma experiência prática as preleções sobre nanoarte e materiais.

A ARTE E SUA RELAÇÃO COM OS MATERIAIS SEGUNDO DELEUZE

Deleuze é talvez o filósofo mais importante sobre a estética do XX século. Em seu trabalho, principalmente, depois de Mil Platôs, podemos ver uma certa radicalização da experiência artística. Ele descreve a obra de arte como movimentos auto expressivos do sensível, cujo modo de existência é uma epifania do modo de vida. Recuperando a tradição do romantismo, Deleuze pensa arte como filosofia da natureza, como filosofia das propriedades auto expressivas das formas naturais.

A Arte começa com marcas territoriais. Estes não se referem nem a um sujeito ou uma sensação que os captura e os apresenta como marcas, nem a um objeto que seria apenas mais do que uma expressão de marcas. A teoria deleuziana da arte é, então, uma afirmação de "um automovimento das qualidades expressivas".

Do ponto de vista dessa filosofia da natureza, a arte é o evento primordial de formas naturais, que pode então ser pensada a partir de marcas territoriais criadas pelos materiais, pois estas marcas podem representar eventos artísticos justamente porque ao representarem os materiais que as criaram, revelam-se expressivas, atrativas de novos territórios.

O expressivo é primário em relação às qualidades possessivas, expressivas, ou questões de expressão, são necessariamente apropriativas e constituem um ser mais profundo do que ser. Não no sentido de que essas qualidades pertencem a um sujeito, mas no sentido em que delineiam um território que pertencerá ao sujeito que o carrega ou produz. Estas qualidades são assinaturas, mas a assinatura, o nome próprio, não é a marca constituída de um sujeito, mas a marca constituinte de um domínio, uma morada. A assinatura não é a indicação de uma pessoa; é a formação de um domínio" (Deleuze & Guattari, 1996, pp. 348-9).

Segundo Deleuze, o pensamento é materializado no cérebro como sensação. Pode-se distinguir três planos em sensação - o plano dos afetos, o das percepções e o dos conceitos. Logo, afetos, percepções e conceitos correspondem às três formas fundamentais de pensamento - arte, ciência e filosofia. A arte está agora concentrada em um único plano: o cerebral, e condensado em uma nova dimensão ontológica: o cérebro do pensamento. O cérebro é um espírito singular, ao mesmo tempo virtual como os conceitos que cria e real como o caos que elimina com seus conceitos. É a dimensão mais sutil de uma natureza que contempla, de uma sensação interna, como alma ou força, a materialidade e a vida das coisas.

Deleuze apresenta a arte como um composto de sensações que é preservada em si mesma, na medida em que existe, sensações como seres verdadeiros, existências reais.

Assim, a arte produz, em vários materiais, seres que permanecem tanto quanto a sua própria expressão. A arte é um composto de seres que se preservam para si, em si mesmos, sem necessidade outra coisa que os justificaria ou apoiaria. "É o percepto ou o afeto preservado em si mesmo. Mesmo se o material durar apenas alguns segundos, ele pode dar a sensação o poder de existir e ser preservado em si (...). Isso significa dizer que a sensação não é realizada no material sem que o material passe completamente para a sensação, no percepto ou afeto. Todo o material se torna expressivo, pois é o afeto que afirma o metálico, o cristalino, o pedregoso e assim por diante; existe uma coexistência entre o material e o Sensível, ou seja, ambos criam uma eternidade que permanece além do material, porque existe nele mesmo. Esta existência eterna se torna um ser de sensação, um ser autônomo composto, um afeto e um percepto. O efeito se torna colorido, metálico ou pedregoso engaja tudo em uma cor tomando-se ou um som tomando-se, em um tomar-se a afetar.

Deleuze e Guattari ensinam que a obra de arte é um ser de sensações, pois:

(...) "sensações, percepções e afetos, são seres cuja validade está em si mesmos e excede qualquer vivido. Pode-se dizer que existem na ausência do homem porque o homem, como ele é pego em pedra, na tela, ou por palavras, é ele mesmo um composto de percepções e afetos. A obra de arte é um ser de sensação e nada mais: existe em si". (Deleuze & Guattari, 2010, p.164)

Essa autonomia da sensação é feita por um duplo sacrifício, ao mesmo tempo do objeto da sensação e do sujeito da sensação. Desde o seu início, a coisa criada é independente do seu modelo, bem como do espectador e do artista que o criou. As sensações, percepções e afetos não precisam do homem como um assunto que lhes assegure uma consistência ou uma justificação. Eles existem além e antes do homem. De acordo com Deleuze e Guattari, a sensação é, acima de tudo, o processo tanto de exceder o vivido como de se tomar as qualidades expressivas do objeto. É nesse sentido que o artista também entra em êxtase, em um excesso da sensação. Como ele está presente em qualquer material, o artista se torna um afeto, um composto de percepções ou afetos.

Essas sensações autônomas são o efeito do que Deleuze e Guattari definem como os afetos das afeições e as percepções das percepções. "Por meio do material, o objetivo da arte é arrancar a percepção de percepções de objetos e os estados de um sujeito que percebe, para arrancar o afeto de afeições como a transição de um estado para outro: para extrair um bloco de sensações, um ser puro de sensações". O artista é aquele que se torna, ou seja, ele é aquele que, no ato da contempla-

ção, se junta ao mundo, mistura-se com a natureza, e entra numa zona de indiscernibilidade com o universo.

A arte revela-se então como a captação das forças insensíveis do cosmos, das vibrações, das linhas vivas, expressão de uma vida não orgânica que existe e que vibra no universo, uma força da vida, uma força do tempo que só ela em um movimento autoreverso consegue captar.

NANOTECNOLOGIA E NANOARTE NOVAS FORMAS DE VER E SENTIR O MUNDO MATERIAL

A Nanociência e Nanotecnologia são áreas relativamente novas e promissoras que irão, em breve, revolucionar a tecnologia atual, e como forma de promover sua popularização, alguns laboratórios propõem-se a trabalhar com Nanoarte em diversas imagens obtidas durante o processo de análise de materiais em escala nanométrica, promovendo a reflexão acerca dos avanços desta tecnologia e, portanto, sua evolução para o benefício da sociedade.

A nanociência concentra o estudo dos fenômenos e a manipulação de materiais nas escalas atômica, molecular e macromolecular, onde as propriedades diferem significativamente daquelas em uma escala maior. Já a nanotecnologia compreende a produção e a utilização de dispositivos e sistemas que manipulam materiais em escala nanométrica. Nanociência e nanotecnologia comumente são interpretados como sendo a mesma coisa, apesar de suas definições serem diferentes. (CARVALHO, 2011).

Um nanômetro, reconhecido no Sistema Internacional de Unidades (SI) com a sigla nm, corresponde à 1 metro dividido por 1 bilhão, o equivalente à 10^{-9} m. Para se ter uma ideia, isso corresponde à um tamanho 100.000 vezes menor que um fio de cabelo. (CDMF, 2015).

No escopo do desenvolvimento da Nanociência configura-se, por seu turno, a NanoArte como uma nova disciplina de arte no campo interseccional entre arte-ciência-tecnologia, que se ocupa de nanopaisagens (paisagens moleculares e atômicas que são estruturas naturais da matéria em escalas moleculares e atômicas) e de nanoesculturas (estruturas criadas por cientistas e artistas através da manipulação de matéria em escalas moleculares e atômicas usando processos químicos e físicos).

Para Carvalho (2011), a Nanoarte representa toda forma de arte vinculada à nanociência ou à nanotecnologia, que trabalha tanto com as tecnologias e os experimentos científicos em si, quanto com os conceitos advindos dos fenômenos quânticos. Faz parte da corrente de manifestações artísticas contemporâneas, na qual arte, ciência e tecnologia se unem cada vez mais. A Nanoarte não tem como simples objetivo desenvolver arte a partir das estruturas visualizadas nas figuras geradas pelos diversos microscópios de nível atômico, mas expor as essas configurações de forma compreensível, até para os mais leigos. Logo, a nanoarte pode ser vista como a técnica de criar obras visuais a partir das imagens de partículas extremamente pequenas.

Como aponta Camargo, um dos pesquisadores que encontrou na nanotecnologia uma maneira de expressar seus dotes artísticos. “Uma partícula sobre a outra pode gerar uma imagem

inusitada. A beleza é esculpida pela própria natureza. O toque do artista vai nas cores escolhidas para enaltecer a imagem”, explica o criador do Projeto Nanoarte ao Jornal Correio Braziliense, que há três anos produz composições obtidas a partir de nanopartículas analisadas pelos alunos e pesquisadores do Centro Multidisciplinar para o Desenvolvimento de Materiais Cerâmicos (CMDMC) da Universidade Federal de São Carlos- UFSCAR.

Nesta direção, Barros (2008) aponta que o mistério do universo nano está em ser invisível a nossos olhos, demandando uma interpretação imaginativa que necessita do auxílio da arte. A tradução da varredura topográfica dos elementos resulta em imagens em 3D, mas, para adentrar e compreender essa escala, necessitamos de metáforas poéticas que nos levem a perceber comportamentos só existentes na física quântica, uma vez que as estruturas moleculares importantes para o enriquecimento do conhecimento só podem ser traduzidas por esse meio ou por analogias a objetos dentro de nossa escala visual normal.

AFETO E PERCEPTO NA PRÁTICA: O CONTEXTO METODOLÓGICO DO TRABALHO DESENVOLVIDO EM LABORATÓRIO COM NANOARTE

O Laboratório de Materiais, Texturas e Modelagem Vilson Kindlen Jr do Centro Universitário Teresa D’Ávila tem por finalidade desenvolver atividades de ensino, pesquisa e extensão para caracterização das propriedades na seleção dos materiais e processos de fabricação, protótipos e mockups em diversos produtos, modelagem 3D para estudos de forma, geometria, volume, texturas e aspectos ergonômicos via prototipagem rápida.

O trabalho objeto desta discussão é parte de um projeto de pesquisa PIBIC-CNPQ coordenado pelo Prof. Dr. Rosinei Batista Ribeiro em parceria com o Prof. Dr. Fernando Vemilli Jr. do Grupo de Pesquisas em Materiais Cerâmicos do Departamento de Engenharia de Materiais - DEMAR-EEL-USP.

As duas amostras que servem de exemplo neste trabalho são dos materiais alumina -Al₂O₃ (amostra 1) e terra de atomáceas (amostra 2). Por se tratar de material cerâmico, a amostra 2 precisou incorporar um material eletro-condutor, ouro (Au). Após todos os procedimentos as amostras foram preparadas para serem encaminhadas ao MEV. 4.2.

No DEMAR configurou-se a análise do material cerâmico que consistiu em uma das amostras do LEM. As amostras foram preparadas e analisadas, a partir daí as imagens concebidas das análises em MEV foram tratadas em um software de edição de imagens, com aplicação dos fundamentos da Nanoarte, resultando em imagens artísticas.

Os materiais antes de serem analisados pelo MEV devem passar por um processo de preparo, para que seja possível a geração das imagens. Em síntese, o material a ser analisado deve ter sua estrutura interna exposta, para que o feixe de elétrons consiga revelar a estrutura.

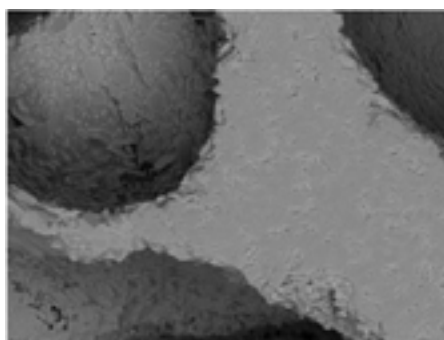
Se a amostra é muito pequena, é necessário moldá-la com resina de cura à frio antes de realizar o lixamento. Para isso, utiliza-se um recipiente removível como molde, coloca-se a amostra,

adiciona-se a resina, e espera esfriar ao tempo. As duas amostras foram moldadas com essa resina, devido ao pequeno tamanho. A amostra deve passar pelo processo de lixamento, isto é, sua superfície deve ser nivelada para evitar ruídos na imagem. Existem diversas numerações de lixas, sendo que quanto menor o número mais espesso e agressivo, e viceversa.

Às vezes as lixas arranham a amostra, sendo necessário utilizar lixas menos espessas para remover os arranhões. As duas amostras foram lixadas com um elemento abrasivo de diamante, utilizando sequencialmente as lixas de número 220, 500, 1200, e 2000. Dependendo do material, somente o lixamento não é suficiente para revelar a estrutura interna, faz-se necessário realizar a corrosão da superfície com um ácido. Nas duas amostras apresentadas não foi necessário aplicar ácido.

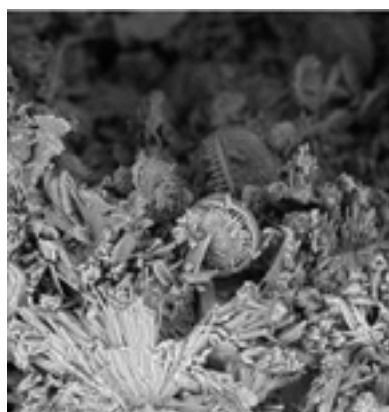
As análises dos materiais selecionados foram feitas com o Microscópio Eletrônico de Varredura HITACHI TM3000. A amostra preparada é colocada dentro da câmara do equipamento. A geração das imagens é feita através de um software, e nele controla-se diversos aspectos da imagem a ser gerada, sendo possível ajustar o nível de ampliação da imagem, o brilho e contraste, e o foco. Seguem como exemplo as imagens antes dos ajustes de cores.

Figura 1- MEV da Amostra 1



Fonte: DEMAR -EEL-USP (2019).

Figura 2 - MEV da Amostra 2

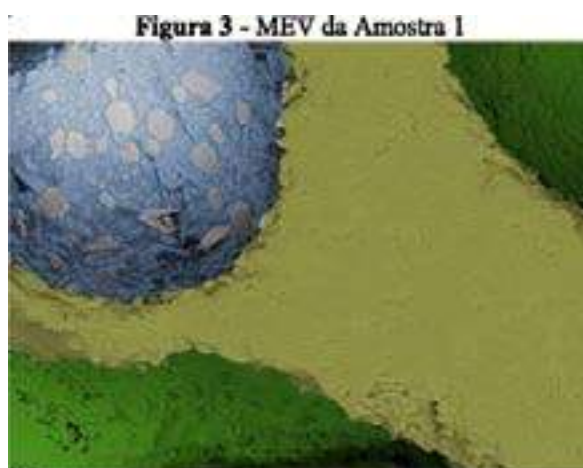


Fonte: LEM-UNIFATEA (2019).

Após as análises em MEV, as imagens obtidas foram tratadas com o software de edição Adobe Photoshop. Como o principal tratamento dado à essas imagens é a coloração, foi necessário selecionar manualmente todas as partes a serem coloridas com as diversas ferramentas de seleção, incluindo a máscara de seleção rápida, alternando entre elas de acordo com as seleções requeridas.

Para colorir utilizou-se as camadas de ajuste de cores. Seguem as imagens após colorização e finalização do processo.

Figura 3 - MEV da Amostra 1



Fonte: LEM-UNIFATEA (2019).

Figura 4 - MEV da amostra 2



Fonte: LEM-UNIFATEA (2019).

Uma análise mais acurada desta experiência desenvolvida na captação de imagens de realizada pelo Laboratório de Materias, Texturas e Modelagens revela que a arte é uma composição de afetos que são arrancados do afeto, é também Natureza representada pelo uso dos materiais, é também território e casa. Por isso, o gesto primordial da captação dessas imagens revela-se arte, porque ao cortar, esculpir e organizar um território, o artista faz remissões contínuas às sensações que lá ocorreram. Isto é, a experiência inicia-se com o tratamento do material para esculpir e construir um território, o artista retoma absolutamente a uma zona de indiscernibilidade entre homem e material, arte e Natureza.

A captação imagética dos materiais é um reflexo de um movimento tecnológico, uma maneira mais atraente e eficaz de se comunicar com o público em geral e de aumentar a conscientização sobre a nanotecnologia e seu impacto em nossas vidas. Pode-se dizer que essas imagens em suas captações desterritorializam o mundo “invisível” através de um microscópio eletrônico de varredura, criando novos territórios que tomam possíveis novas compreensões dos materiais em seu contexto de uso. Ou seja, ao capturar as digitalizações monocromáticas em um computador, pintá-las e manipulá-las digitalmente, o artista combina o realismo da imagem científica com a coloração abstrata e imprime às artes finais em tela ou papel de arte com tintas de arquivamento especialmente formuladas para durar por um longo período de tempo, um conjunto de variações inseparáveis que é produzido ou construído num plano de imanência, que corta a variabilidade caótica e lhe dá consistência (realidade).

Isto posto, pode-se inferir que no trabalho com a nanoarte, os movimentos da arte são pensados tanto como arte quanto ciência. O propósito da arte é tomar o caos sensível, porque, de acordo com Deleuze e Guattari (2010, p. 134), “a arte não é o caos, mas uma composição do caos que produz a visão ou sensação, pois pensar garante consistência ao caos.

À GUIA DE CONCLUSÕES

Pensar a relação entre nanoarte, materiais e filosofia aponta para uma questão metodológica que se apresenta mais complexa do que aparenta ser, revestindo-se de significado por realizar a articulação de uma forma de compreensão da realidade com uma prática específica, isto porque nos permite investigar o entrelaçamento de conexões, explorando os limites conceituais e os diversos significados da nanoarte, em seu desenvolvimento, a partir de um processo em que arte e ciência revelam seus desdobramentos, tornando possível uma repercussão intrínseca em seus domínios das linhas de interferência e completude entre elas próprias.

Nesse sentido, a nanoarte revela-se para os campos em que se insere como uma manifestação transdisciplinar entre arte, ciência e tecnologia, metamorfoseada na captação imagética, que vai além dos microscópios, promovendo uma certa conscientização de como estes instrumentos, a partir da visão do cientista, ocasionam rupturas nas formas de percepção e afecção com o mundo, tecendo-se uma trama rizomática entre nanociência e arte, que desvela na compreensão dos sentidos produzidos na captação imagética dos materiais, o sentido próprio de cada um em consonância com o significado da própria vida.

REFERÊNCIAS

BARROS, Anna. Nano: Poética de um Mundo Novo. Organização. São Paulo: FAAP, 2008.

CARVALHO, Renata Simoni Homem de. Nanoarte: a poética do espírito. 2011. 103 f., il. Dissertação (Mestrado em Artes) - Universidade de Brasília, Brasília, 2011. Disponível em <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/10032>>. Acesso em 02/05/2019.

CORREIO BRAZILIENSE. A nanoarte é a técnica de criar obras visuais a partir das imagens de partículas extremamente pequenas. Disponível em: <https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/ciencia-e-saude/2010/04/15/interna_ciencia_saude,186271/a-nanoarte-e-a-tecnica-de-criar-obras-visuais-a-partir-das-imagens-de-particulas-extremamente-pequenas.shtml>.

Deleuze, G., & Guattari, F. Mil Platôs: capitalismo esquizofrenia (Vol. 3). Rio de Janeiro, RJ: Ed. 34, 1996.

Deleuze, G., & Guattari, F. O que é a filosofia? São Paulo, SP: Ed. 34, 2010.

CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS UHTC EXPOSTOS A TOCHA DE PLASMA HIPERSÔNICA SIMULANDO APLICAÇÕES AEROESPACIAIS

Cristian Cley Patemiani Rita -Doutorando
Prof. Dr. Felipe de Sousa Miranda
Prof. Dr. Felipe Rocha Caliar
Prof. Dr. Gilberto Petraconi Filho Petraconi
Profa. Dra. Rosa Maria Rocha
Prof. Dr. Alexei Mikhailovich Essiptchouk
Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA)
Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE)
Universidade Estadual Paulista (UNESP)

RESUMO

A implementação bem-sucedida de veículos hipersônicos e a evolução das cápsulas espaciais usadas na reentrada atmosférica dependem da compreensão profunda do efeito da carga aerodinâmica fornecida na nova classe de materiais denominada cerâmica ultra- alta temperatura (UHTC). Esta abordagem exige dados experimentais de resistência à ablação de materiais UHTC sob regime hipersônico, o que raramente é discutido na literatura. Este trabalho tem como objetivo investigar o mecanismo de degradação de materiais à base de ZrB₂-SiC, testado em túnel de plasma, operando sob fluxo hipersônico. O jato de plasma hipersônico de ar comprimido promove o ambiente ablativo com fluxo térmico de 1,7 MW/m² a uma distância de 85 mm das amostras e Mach 5. O efeito da adição de SiC, com diferentes porcentagens em volume (10, 20 % vol), na microestrutura da cerâmica UHTC à base de ZrB₂ submetida a estas condições, foi investigada por MEV. Finalmente, demonstramos que sob regime hipersônico o teor de SiC é um parâmetro importante para determinar a transição do mecanismo de oxidação ativo para passivo dos materiais à base de ZrB₂-SiC.

Palavras-chave: Túnel de Plasma, Tocha de Plasma Hipersônica, Sistemas de Proteção Térmica (TPS), Reentrada Atmosférica.

ABSTRACT

The successful implementation of hypersonic vehicles and the evolution of the space capsules used in atmospheric reentry depend on the deep understanding of the effect of the aerodynamic charge provided on the new class of materials called ultra-high temperature (UHTC) ceramics. This approach requires experimental data of resistance to ablation of UHTC materials under hypersonic conditions, which is rarely discussed in the literature. This work aims to investigate the degradation mechanism of materials based on ZrB₂-SiC, tested in a plasma tunnel, operating under hypersonic flow. The compressed air hypersonic plasma jet promotes the ablative



environment with thermal flux of 1.7 MW l m² at a distance of 85 mm from the samples and Mach 5. The effect of the addition of SiC, with different percentages by volume (10,20 % vol) into the microstructure of ZrB₂-based UHTC ceramics subjected to these conditions was investigated by SEM. Finally, we show that under hypersonic regime the SiC content is an important parameter to determine the transition from the active oxidation mechanism to the passive ZrB₂-SiC based materials.

Keywords: Plasma Tunnel, Hypersonic Plasma Torch, Thermal Protection Systems (TPS), Atmospheric Reentry.

INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios tecnológicos na área de voos espaciais tripulados e não tripulados está em superar a barreira da velocidade hipersônica (Zhang et al, 2008; Fahrenholtz, 2007; Kaiser, 2007). Veículos aeroespaciais de transporte de passageiros ou de carga que se deslocam em regime igual ou superior a Mach 5, entre vários pontos na superfície da terra ou mesmo fora dela é o principal objetivo (Monteverde et al, 2010). E para superar tal desafio grandes modificações aerodinâmicas deveriam ser feitas nos materiais utilizados, tornando-os mais leves e resistentes a elevadas cargas térmicas. Tecnologias que permitam o controle da reentrada atmosférica, descida e aterrissagem segura destes transportes (Li et al, 2016).

Em voo hipersônico estes veículos estarão sujeitos a temperaturas superiores a 2000°C no processo de reentrada atmosférica, pois o fluxo térmico gerado no atrito entre a superfície do veículo e a atmosfera planetária local cria uma onda de choque nesta região, promovendo mudanças e causando efeitos descontínuos locais como pressão, temperatura e densidade atmosférica (Monteverde et al, 2010; Wang et al, 2017). A onda de choque gerada por escoamento hipersônico e turbulento cria uma força de arraste na superfície criando pressão dinâmica que poderá formar regiões de fluidez superficial, favorecendo assim o processo de ablação ou oxidação térmica superficial (Wang et al 2017; Paul et al, 2014).

A próxima geração de veículos aeroespaciais utilizará sistemas de proteção térmica hipersônica, materiais inteligentes que apresentaram um conjunto de propriedades associativas, comutativas, complementares e distributivas. Materiais Inteligentes apresentam comportamento adaptativo com capacidade de auto regulação, acoplamento entre grandezas mecânicas e não mecânicas, capacidade de alterar propriedades, devido as mudanças ambientais locais (Du et al, 2016; Opeka et al, 2004). Materiais inteligentes ou materiais multifuncionais com capacidade adaptativa de mudar sua forma, rigidez, resistência térmica, condutividade térmica entre outras propriedades, por meio de imposição de temperatura, efeitos do regime hipersônico, vibrações mecânicas entre outras (Opeka et al, 2004; Savino et al, 2018; Li et al, 2015). No estudo dos materiais utilizados nos sistemas de proteção térmica, os materiais que mais se aproximam as propriedades desejáveis associadas aos materiais inteligentes, com capacidade adaptativa quando submetido a intenso efeitos térmicos, os materiais cerâmicos compostos por misturas de ZrB₂ - SiC mostram qualidade nesta aplicação e são incluídos na categoria de materiais Cerâmicos de Ultra Alta Temperatura (UHTC). Materiais que combinam qualidades essenciais como alto ponto de fusão com alta resistência térmica (Zhang et al, 2008), resistente ao processo de oxidação/Ablação (Kaiser et al, 2008), boa inércia química (Fahrenholtz et al, 2007).

O objetivo deste trabalho foi de investigar o comportamento térmico das amostras de ZrB₂ com SiC em 10 vol% e 20 vol%, materiais cerâmicos de Ultra Alta Temperatura sob condições de alto fluxo térmico hipersônico em condições de ambiente de alta oxidação térmica em atmosfera de ar quando submetidas a uma tocha de plasma de arco não - transferido operando em regime de escoamento hipersônico (Mach 5). Nestes ensaios foram estudados a reação de cada uma das amostras através de um mapa de comportamento composto por Micrografia da superfície e da crosssection por MEV e composição química elementar (EDS). Esse conjunto de resultados são discutidos e correlacionados em relação a perda de massa e a taxa de ablação de cada amostra.

REFERENCIAL TEÓRICO

Todo o processo de preparação das amostras de ZrB₂ - SiC, Cerâmicas de Ultra – Alta Temperatura (UHTC), com diferentes composições de SiC em 10 e 20%vol (ZS10 e ZS20) foram preparadas no IAE (Instituto de Aeronáutica e Espaço). Cerâmicas de ultra alta temperatura (UHTC) são os principais candidatos como material de proteção térmica de veículos reutilizáveis devido a sua alta resistência a oxidação (Paul et al, 2014; De Flippis et al, 2003). Os processos de erosão e reações químicas em ambiente ablativo que levam à redução do material de proteção térmica envolvem uma série de produtos de reações e dependem de pressão, velocidade do plasma, temperatura, entalpia, fluxo térmico entre outros componentes da tocha de plasma e das propriedades do material utilizado, associando as propriedades dos materiais formados na superfície durante o processo de ablação Huang et al, 2015). No estudo de processos de erosão destes materiais foi utilizado o Diboretto de Zircônio (Zr-B₂) como material base da estrutura em conjunto com o Carbetto de Silício (SiC) que participa como contorno de grãos na composição da UHTC, formando o composto Zr-B₂ _ SiC. O entendimento dos mecanismos de oxidação deste material, que podem ser passivos ou ativos, é de fundamental importância para sua aplicação de acordo com oxidação do Zr-B₂ _ SiC. Embora existam reações ou mecanismos adicionais de decomposição, as reações químicas de oxidação mais prováveis para o Zr-B₂-SiC são as seguintes (Zhang et al, 2008; Monteverde et al, 2010; Wang et al, 2017):

Oxidação Ativa:



Oxidação Passiva:



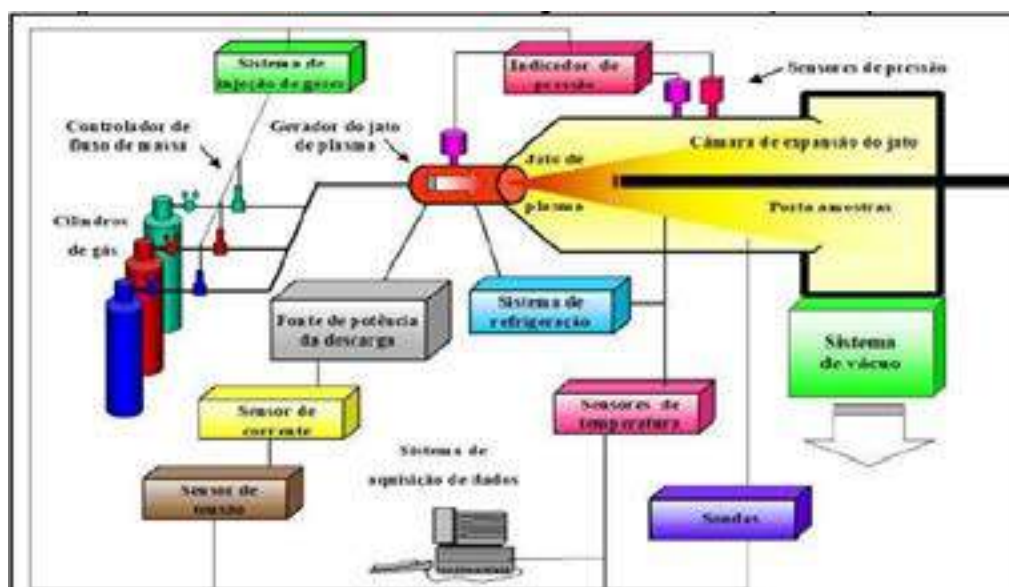
O processo de oxidação ativa ocorre em situações de elevada temperatura e baixa pressão parcial de oxidante, a formação de uma camada protetora de SiO₂ na superfície da cerâmica UHTC é abortada formando somente gases voláteis de B₂O, B₂O, SiO e CO, acarretando um consumo rápido do SiC presentes nas UHTC apresentando alta perda de massa e formando nas superfícies o ZrO₂. O outro mecanismo de oxidação, chamado de “passivo”, ocorre preferencialmente em temperaturas mais baixas e maiores pressões parciais de oxidante. Neste regime ocorre a formação de uma camada de SiO₂ estável sobre a superfície que reduz a difusão de oxidantes para as cerâmicas

UIITC e consequentemente também diminuindo a taxa de perda de massa (De Filippis et al, 2003).

METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados no Túnel de Plasma instalado no Laboratório de Plasmas e Processos (LPP) do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). O aparato experimental utilizado para simulação de reentrada atmosférica é composto por uma câmara de vácuo cilíndrica de 1,5 m de diâmetro e 2 m de comprimento com pressão de fundo de 20 Pa e pressão de operação na câmara de vácuo de 215,7 kPa em atmosfera de ar e o diagrama em bloco de Figura 1.

Figura 1 - Túnel de Plasma do LPP, diagrama em blocos do aparato experimental



Fonte: O autor, (2019).

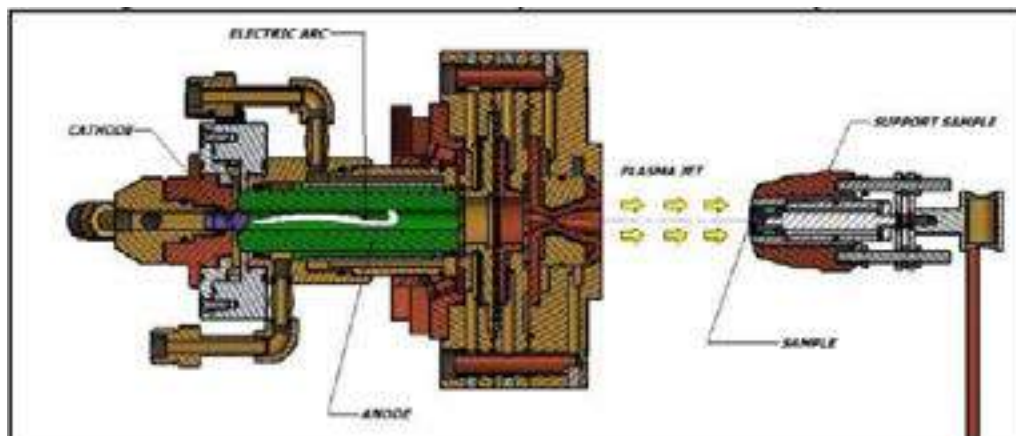
Instalada no interior da câmara de vácuo do túnel de vento de plasma, uma tocha de plasma de arco não - transferido operando em regime de corrente contínua (DC) de corrente de 110 A e tensão de 340 V em fluxo térmico de 1,7 MW/m² e entalpia média de 18,5 MJ/kg. Utiliza-se ar como gás de trabalho com vazão de 19,5 l/min e pressão operacional de 1,9Kgf/cm², e acoplado a tocha de plasma encontra-se um bocal de Laval, que permite a operação em escoamento hipersônico (Mach 5).

O fluxo térmico com velocidade hipersônica gera uma onda de choque na superfície das amostras, ou seja, através do processo de convecção forçada ocorre o transporte de energia e massa de ar na tocha de plasma, promovendo mudanças e causando efeitos descontínuos na pressão, temperatura e densidade do jato de plasma em direção a superfície das amostras. Esta onda de choque gerada pelo escoamento hipersônico e turbulento cria uma força de arraste na superfície das amostras. Essa força de arraste cria uma região de pressão dinâmica promovendo a fluidez superficial e favorecendo os mecanismos de oxidação passiva e ativa.

Para execução dos testes de ablação foi utilizado um suporte para fixação de amostras, um

porta amostras com capacidade de fixação transversal de até 8 amostras e capacidade de rotação de 360° em relação ao eixo principal longitudinal possibilitando assim a execução de 8 ensaios sequenciais. Figura 2 apresenta o porta amostras disposto a uma distância de 85 mm do bocal de Laval na saída do jato de plasma e um laser de diodo He-Ne utilizado para o alinhamento e posicionamento das amostras em relação a este eixo de ataque da tocha de plasma.

Figura 2: Desenho em corte total da tocha de plasma de arco não transferido e porta amostra



Fonte: O autor, (2019).

A medida dos valores de temperatura na superfície das amostras foi feita por meio de um pirômetro de Infravermelho IR, Pyrofiber Lab. A massa e a espessura de cada amostra foram medidas antes e depois de cada teste de ablação. Todas as amostras foram submetidas aos testes de ablação, executados com o tempo de exposição de 40s para as amostras ZSiO e ZS20 jato de plasma hipersônico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

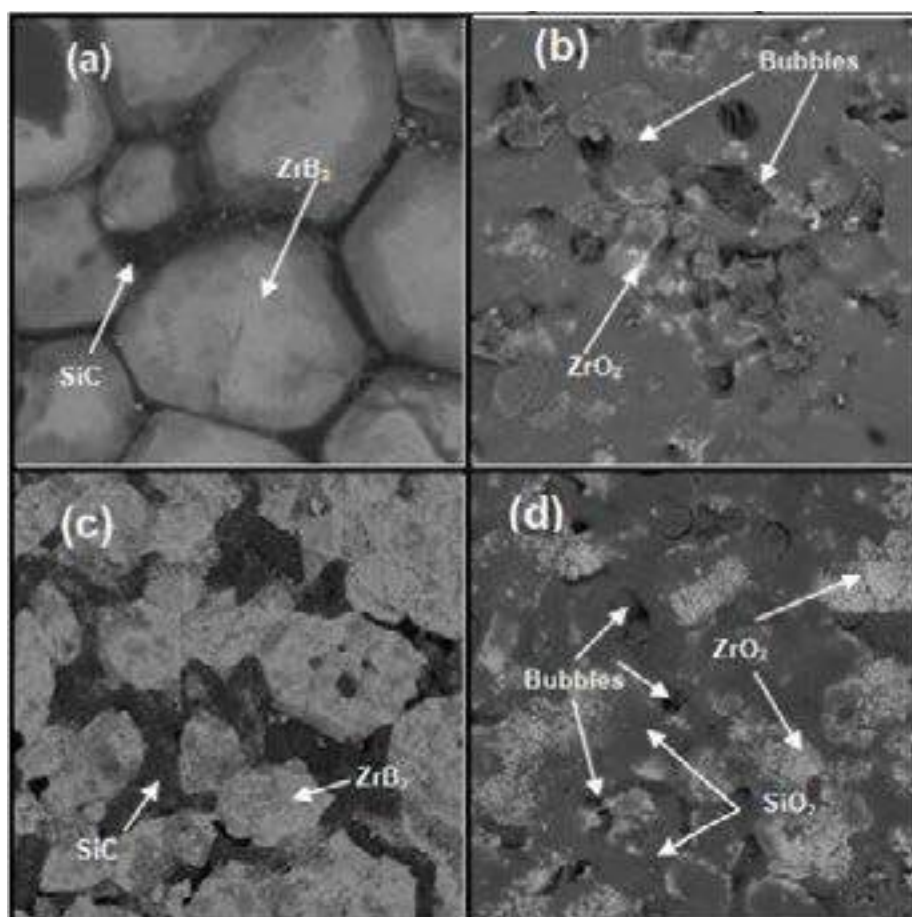
O comportamento da superfície das amostras de ZSiO e ZS20 submetidas ao ensaio de ablação. A Figura 3 apresenta a microestrutura e morfologia diferente para as amostras de ZSiO, ZS20 quando comparados as micrografias obtidas antes dos ensaios de ablação Figura 3(a), 5(c) e depois dos ensaios de ablação Figura 3(b), 3(d). De acordo com Juliane et al as micrografias das superfícies das amostras antes dos ensaios de ablação apresentam regiões intactas e bem definidas, como exemplo, na micrografia da amostra de ZSiO é possível identificar a estruturada forma de grãos para o ZrB2 com comprimento médio de 18 microns e a presença de SiC nos contornos de grão de acordo com a Figura 3(a). A Figura 3(c) mostra um aumento na composição de SiC no contorno de grãos para o ZS20 respectivamente em relação ao ZSiO.

Nas micrografias da Figura 3(b), 3(d) observa-se alterações significativas na morfologia das superfícies das amostras após os ensaios de ablação em comparação com as amostras antes dos ensaios de ablação, ou seja, verifica-se um comportamento de fluidez superficial quando as amostras foram submetidas a um fluxo térmico com alta temperatura e velocidade hiper sônica gerando uma onda de choque na superfície das amostras, ou seja, através do processo de convecção forçada ocorre o transporte de energia e massa de ar promovendo mudanças e causando efeitos

descontínuos na pressão, temperatura e densidade do jato de plasma em direção a superfície das amostras. Na Figura 3(b) mostra baixa formação de bolhas no ensaio de ablação do ZS1O, ou seja, baixa difusão de O na superfície reagindo com o ZrB₂ e com isso favorecendo as reações químicas (1), (2) e (3) na formação de ZrO₂ na forma de revestimento vítreo mais externo e mais frágil na superfície das amostras e B₂O₃, B₂O e B₂O na forma gasosa, o resultado desse processo é a formação de camada de oxidação ativa com baixa resistência térmica e materiais gasosos altamente volátil devido a baixa composição de SiC nas amostras de ZS1O (Wang et al, 2017; Paul et al, 2014).

Na Figura 3(d) mostra um comportamento diferente no ensaio de ablação para as amostras ZS20 em relação ao comportamento anterior, onde a formação de bolhas é mais intensa, mostrando que ocorreu maior difusão de O devido à alta temperatura através do jato de plasma hipersônico na superfície do material associado a um ambiente altamente reativo e com isso favorecendo as reações químicas (2), (3), (4), e potencializando o processo de oxidação do B em B₂O, B₂O altamente volátil e do SiC para formação do ZrO₂ e SiO₂ e novamente ocorreu a formação vítrea na superfície devido a presença de mais SiC na composição das amostras de Zs20 foi possível a formação de camada de oxidação passiva na superfície da ZS20.

Figura 3: (a), (c) apresenta as amostras ZS1O, ZS20, respectivamente, antes do ensaio de ablação. As micrografias (b), (d) apresentam as amostras ZS1O, ZS20, respectivamente, após o ensaio de ablação.



Fonte: O autor, (2019).

A formação de camada vítrea de oxidação passiva na superfície do ZS20 é devido a formação de SiO₂ como apresentado na Figura 3(b) e em conjunto com a formação de ZrO₂ temos a formação de uma camada passivadora com alta resistência térmica, onde temos a formação de SiO₂ na camada mais externa e ZrO₂ nas camadas mais internas criando uma região de interface entre camadas de alta resistência térmica e uma região de transição muito específica com possível formação de ZrSiO₄ que não é encontrado nas condições do ZSIO. A formação de ZrSiO₄, o silicato de zircônia é resultado da oxidação do ZrB₂ - SiC em ambiente de alta temperatura e alta difusão de oxigênio formando um sistema óxido pseudo-binário ZrO₂ - SiO₂ por meio da reação química (5) de oxidação (Wang et al, 2017; Paul et al, 2014). Esse comportamento apresenta um comportamento singular na perda de massa das amostras, pois ocorre a formação do ZrO₂ - SiO₂ mudando o comportamento das propriedades de perda de massa das amostras.

Como o objetivo de confirmar os parâmetros obtidos nos ensaios de ablação submetidos no interior do túnel de plasmas do ITA, ou seja, um intenso ambiente de oxidação térmica através de alto fluxo térmico com velocidade hipersônica, que em contato com a superfície das amostras gerou um processo de convecção forçada promovendo o transporte de energia e massa de ar produzindo efeitos descontínuos na pressão, fluxo de ar, temperatura e densidade do jato de plasma em direção a superfície das amostras através do escoamento turbulento criando uma força de arraste na superfície das amostras. E como vimos essa força de arraste cria uma região de pressão dinâmica promovendo a fluidez superficial e favorecendo os mecanismos de oxidação passiva e ativa do ZrB₂ + SiC para as composições do SiC para as amostras ZSIO, ZS20. A partir destas considerações análises complementares a partir da crossection das amostras foram realizadas, ou seja, após os ensaios de ablação submetidos a cada amostras, fizemos o embutimento em resina acrílica e polimento lateral em todas as amostras, com o objetivo através de MEV e EDS confirmar os componentes analisados por meio da composição química e micrografia da crossection de cada amostra, onde podemos ou não confirmar a composição química e o comportamento da superfície do material submetido aos ensaios de ablação, como visto a partir de então.

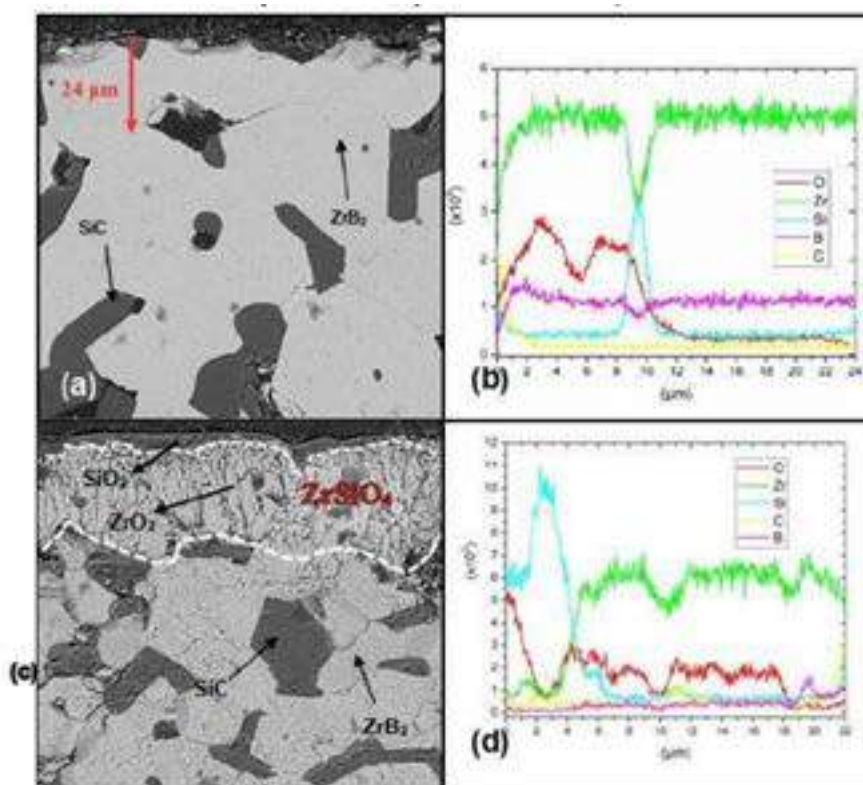
O comportamento da crossection das amostras de ZSIO, ZS20 submetidas ao ensaio de ablação

Foram analisadas as crossection das amostras, ZSJ O, ZS20, Figura 4(a), (c) onde foi possível analisar o comportamento da microestrutura por MEV e fazer uma análise qualitativa da composição química por EDS nas Figura 4(b), (d) da crossection das amostras. Na Figura 4(a) mostra estrutura na seção transversal do ZSJ O, e o EDS correspondente na Figura 4(b) uma região entre (O - 8μm) com maior contagem elementar de Zr e O, o que pode indicar a formação de ZrO₂. Este óxido foi formado na região mais próxima da superfície da amostra indicando o processo de oxidação do ZrB₂. Além disso, considerando a temperatura de superfície da amostra durante os testes de ablação superiores a 1930°C, é possível associar a baixa contagem referente ao elemento boro com a reação de oxidação e formação de um óxido volátil B₂O a temperaturas maiores que 1000°C (Opeke et al, 2004). Ainda analisando as amostras ZSJ O é possível observar uma interface entre (8 - 12 μm), que apresenta a diminuição na contagem de oxigênio O, sendo possível afirmar que esta região tem menor difusão de oxigênio e consequentemente apresenta baixa formação de óxido. Além disso, a presença de ZrO₂ atenua o ensaio de ablação em camadas mais internas do material, haja visto que este óxido possui baixa condutividade térmica e a partir de 12 μm é observado a estrutura base do material que compõe a amostra ZSJO, que possui alta concentração de Zr e B, elementos base para a formação de ZrB₂ e baixa contagem de Si devido a menor concentração

deste componente na fabricação do ZrB₂/SiC.

O fenômeno de oxidação do ZrB₂ pode ser compreendido por meio das reações químicas (1), (2) e (3), uma vez que a região de análise na amostra de ZSJO foi submetida a alta temperatura, e exposta diretamente ao jato de plasma hipersônico de ar com alta concentração de oxigênio potencializando o processo de oxidação do ZrB₂ (HU et al, 2013).

Figura 4: (a), (c) apresenta a micrografia da cross-section das amostras ZS10, ZS20 e ZS30, respectivamente e os gráficos (b), (d) apresentam a composição química da cross-section por EDS das amostras ZS10, ZS20, respectivamente, após o ensaio de ablação.



Fonte: O autor, (2019).

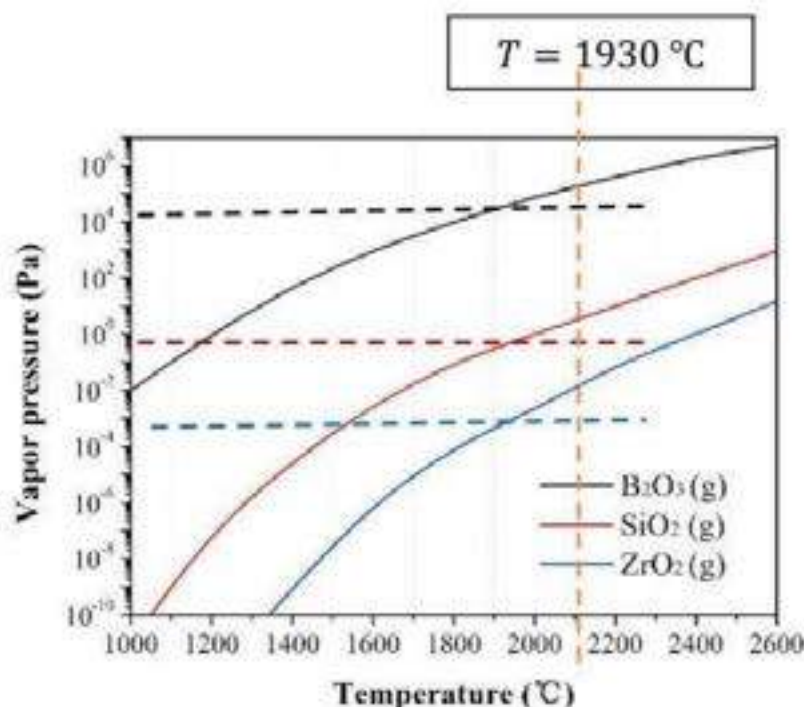
A partir dessas equações é possível determinar quais produtos foram formados a partir da oxidação do ZrB₂, pois normalmente o B₂O₃, B₂O e o B₂O₂ possui baixo ponto de fusão (T= 450°C) (Zhang et al, 2008).

A Figura 5 apresenta o comportamento do B₂O₃ quando submetido ao jato de plasma hipersônico favorece um ambiente de alta pressão de vapor e a alta temperatura tomando-se altamente volátil, e vaporizando rapidamente, facilitando a formação de ZrO₂ a partir da oxidação do ZrB₂.

A formação de ZrO₂ nesta camada não garante um material com alta resistência térmica quando submetido ao ensaio de ablação, mas sim um óxido com baixa resistência mecânica a ten-

são de cisalhamento, ou seja, um material baixa resistência ao aumento da tensão de cisalhamento (tensão tangente a superfície) quando este (Paul et al, 2014), submetido ao fluxo de gás, leva a ao processo de escamação superficial e consequentemente a perda de massa apresentada na Tabela 1.

Figura 5: Pressão de Vapor vs. Temperatura ($T = 1930^{\circ}\text{C}$) para os óxidos acima.



Fonte: Zhang et al, (2008).

Analisando os resultados obtidos por MEV/EDS na região de cross-section das amostras de ZS20 após os testes de ablação, foi identificadas composições químicas diferentes para porcentagem volumétrica maior de SiC contida nestas amostras em relação as amostras de ZSJO. O EDS apresenta alta composição química de Si e O entre (0 - $2,5 \mu\text{m}$) de espessura indicando a formação de SiO_2 na camada mais externa da amostra, e baixa contagem de B, figura 4(d). Pois em alta temperatura e em ambiente altamente reativo o O contido na atmosfera de ar do jato de plasma potencializa o processo de oxidação do B em B_2O_3 altamente volátil. Nesta amostra ocorre também alta concentração na composição química de Zr e O indicando a formação de ZrO_2 entre ($6,5 - 20 \mu\text{m}$) como apresentado no estudo anterior, mais neste caso a formação deste óxido ocorre em camadas internas de acordo com as reações químicas de oxidação (1), (2) e (3) na amostra Zs20 e responsável por dar sustentação mecânica a estrutura da amostra, aumentando a resistência mecânica do material dificultando o deslocamento tangente entre camadas, sustentando a estrutura como base para a formação de SiO_2 que atua como proteção térmica em conjunto com o ZrO_2 promovendo a estabilidade térmica do material em condições de simulação de reentrada atmosférica (Wang et al, 2017; Huang et al, 2015).

Devido a maior quantidade de SiC utilizado na fabricação da amostra ZS20, os resultados mostraram que essa quantidade maior, foi suficiente para alterar a composição química da amostra

e apresenta a formação de SiO₂ após o ensaio de ablação. Na Figura 4(c) indica a formação de SiO₂ na camada mais externa de acordo com a reação química de oxidação (4), (5) e a formação de ZrO₂ nas camadas mais internas cria uma região de interface entre camadas de alta resistência térmica e de grande interesse tecnológico. Esse material pode ser aplicado a processos sendo são utilizados como sistemas de proteção térmica em superfícies submetidas a alta intensidade de energia térmica em ambiente de alta degradação (Kaiser et al, 2007). A Figura 4(d) apresenta os resultados de uma região de transição entre (2,5 - 6,5 μ m) muito específica com possível formação de ZrSiO₄ que não é encontrado no EDS do ZSJ0. A formação de ZrSiO₄, o silicato de zircônia é resultado da oxidação do ZrB₂ - SiC em ambiente de alta temperatura e alta difusão de oxigênio (Kaiser et al, 2008). O ZrSiO₄ é um material cerâmico e refratário com excelentes propriedades termo físicas tais como baixa expansão térmica, baixa condutividade térmica e boa resistência a corrosão. Para entendermos a formação do ZrSiO₄ é necessário inicialmente conhecer a formação do sistema óxido pseudo-binário ZrO₂-SiO₂ por meio da reação química de oxidação (5) (Wang et al, 2017; Huang et al, 2015).

Esses óxidos quando submetidos as condições de ensaio altamente reativo e de alta temperatura, que ainda são expostos diretamente ao jato de plasma de ar com alta concentração de oxigênio potencializa o processo de oxidação e formação do ZrSiO₄.

Propriedades Ablativas - Perda de Massa

Após analisar os resultados obtidos por MEV, EDS e DRX na superfície das amostras de ZSJ O, ZS20 por meio dos ensaios de ablação executado pelo ataque direto do jato de plasma hipersônico, verifica-se coerência nestes resultados, pois os ensaios que mostram a formação de camada de oxidação ativa mostra a ocorrência de perda de massa da amostra, pois ocorre a formação de ZrO₂ na superfície das amostras devido a baixa composição de SiC (10 vol%) nas amostras de ZSJ0, e observa-se nestas condições que a composição de ZrB₂ + SiC não apresenta propriedades importantes como resistência a oxidação térmica, apresentando desgaste térmico e diminuição de sua espessura e perda de massa das amostras como mostra a tabela 1. No caso do ZS30 ocorreu a mesma situação em menor escala, ou seja, a formação de camada de oxidação ativa de ZrO₂ e neste caso por excesso da composição de SiC na mistura da composição da amostra de ZrB₂ + SiC também não apresentou propriedades importantes como resistência térmica, mostrando menor efeito ablativo nas amostras de ZS30 em relação ao ZSJ O.

A tabela 1 mostra informações importantes sobre os mecanismos envolvidos nos ensaios de ablação em relação a taxa de ablação e a taxa de ablação linear apresentado pelas amostras.

Tabela 1: Propriedades ablativas das amostras utilizadas nestes ensaios.

Amostra	Massa Inicial (M _i)(g)	Massa Final (M _f)(g)	ΔM (M _f)(mg)	Tempo (t)(s)	Taxa de Ablação ($\Delta M/\Delta t$) (mg/s)	L _i (mm)	L _f (mm)	Taxa de Ablação Linear ($\Delta L/\Delta t$) (mm/s)
ZSJ0	1,505	1,503	2	40	0,05	41,8	34,3	0,19
ZS20	1,346	1,478	-132	40	-3,3	40,1	40,8	-0,018

Acompanhando na tabela 1, os resultados da perda de massa (AM) e diminuição das espessuras (AL/At) das amostras em função do intervalo de tempo de exposição a tocha de plasma hipersônica no experimento analisado, foram obtidos a taxa de ablação, taxa de ablação linear e o comportamento da camada de reação para as amostras neste ensaio indica que as amostras de ZS20 apresentam um ótimo comportamento referente ao ensaio de ablação em comparação com a amostra ZSJO. Mostra que para as amostras ZS20 ocorreu baixa taxa de ablação e baixa taxa de ablação linear indicando alta resistência a ablação (Liu et al, 2015; Oliveira et al, 2015). E em relação a camada de reação mostra um valor alto para estas amostras indicando crescimento e manutenção das camadas de óxidos interna com a presença do SiO₂ e externa com a presença do ZrO₂, favorecendo ainda a formação do ZrSiO₄, composição química fundamental para materiais utilizados como barreira de proteção térmica como visto no EDS.

As análises dos resultados verifica-se que no caso dos ensaios das amostras de ZS20 ocorreu a formação de camada de oxidação passiva e essa camada de passivação apresenta a formação do ZrO₂ reações químicas possíveis (1), (2), (3) nas camadas mais externas e a formação de SiO₂ reações químicas possíveis (5), (6) nas camadas mais internas após o ensaio de ablação, desta forma favorecendo a formação do sistema óxido pseudo-binário ZrO₂ - SiO₂ por meio da reação química de oxidação (5) promovendo a formação de Silicato de Zircônia, o ZrSiO₄. Neste caso apresenta a formação de uma camada resistente a oxidação térmica e fundamental para a criação de uma camada protetora importante para as condições de reentrada atmosférica (Hu et al, 2013; Parthasarathy et al, 2013).

O ZrSiO₄ é um material cerâmico e refratário com excelentes propriedades termo físicas tais como baixa expansão térmica, baixa condutividade térmica e boa resistência a corrosão (Parthasarathy et al, 2013; Marschall et al, 2009).

CONCLUSÃO

As amostras de ZrB1 - SiC com variação na concentração do SiC em 10, 20(% vol) foram submetidas ao ensaio de ablação simulando condições de reentrada atmosférica utilizando uma tocha de plasma hipersônica (Mach ::5) com fluxo térmico de 1,7 (MW/m²) e entalpiamédia de 18,5 (MJ/Kg) e T = 1930 °C instalada em um túnel de plasma. Os resultados dos ensaios de ablação mostram que a amostra de ZS 1O sofrem oxidação ativa, formando ZrO₂ na superfície em função da alta taxa de ablação, criando regiões de fluidez superficial causando perda de massa e desgaste dos materiais ablados.

Para o ZS20 ocorreu oxidação passiva, ou seja, sua composição química favorece a formação de camadas passivadoras de ZrO₂ + SiO₂ +-+ZrSiO₄, tomando-as mais resistentes a oxidação térmica com baixa taxa de ablação e alta camada de reação na superfície indicando acoplamento entre grandezas mecânicas e térmicas. Condições suficientes para alterar suas propriedades, devido as mudanças ambientais locais. A próxima geração de veículos aeroespaciais utilizará sistemas de proteção térmica hipersônico, materiais inteligentes ou multifuncionais com capacidade adaptativa para mudar sua forma, rigidez, resistência térmica, condutividade térmica entre outras propriedades em função de temperatura e efeitos do regime hipersônico. Os materiais compostos cerâmicos por misturas de ZrB2 - SiC mostram qualidade nesta aplicação e são incluídos na categoria de materiais Cerâmicos de Ultra Alta Temperatura (UHTC). Materiais que combinam qualidades essenciais como

alto ponto de fusão com alta resistência térmica, resistente ao processo de oxidação/Ablação entre outras propriedades.

REFERÊNCIAS

- A. Kaiser, M. Lobert, R. Telle, Thermal stability of zircon (ZrSiO_4), J. Eur. Ceram. Soc. 28 (2008) 2199-2211. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2007.12.040.
- A. Paul, J. Binner, B. Vaidhyanathan, UHTC Composites for Hypersonic Applications, in: Ultra-High Temp. Ceram., John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, NJ, 2014: pp. 144-166. doi: 10.1002/9781118700853.ch7.
- B. Du, N. Li, B. Ke, P. Xing, X. Jin, P. Hu, X. Zhang, ZrB_2 -SiC composites' surface temperature response to dissociated oxygen at 1600 °C, Ceram. Int. 42 (2016) 14292-14297. doi: 10.1016/j.ceramint.2016.06.041.
- D. HUANG, M. ZHANG, Q. HUANG, L. WANG, X. TANG, X. YANG, K. TONG, Fabrication and ablation property of carbon/carbon composites with novel SiC- ZrB_2 coating, Trans. Nonferrous Met. Soc. China. 25 (2015) 3708-3715. doi:10.1016/S1003-6326(15)64012-2.
- F. De Filippis, A. Dei Vecchio, S. Caristia, SCIROCCO plasma wind tunnel: Low enthalpy by use of cold air transverse injection, Eur. Sp. Agency, (Special Publ. ESA SP. (2003) 347-352.
- F. Monteverde, R. Savino, M.D.S. Fumo, A. Di Maso, Plasma wind tunnel testing of ultra-high temperature ZrB_2 -SiC composites under hypersonic re-entry conditions, J. Eur. Ceram. Soc. 30 (2010) 2313-2321. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2010.01.029.
- H.-L. Liu, J.-X. Liu, H.-T. Liu, G.-J. Zhang, Changed oxidation behavior of ZrB_2 -SiC ceramics with the addition of ZrC, Ceram. Int. 41 (2015) 8247-8251. doi:10.1016/j.ceramint.2015.02.150.
- J. LI, X. YANG, Z. SU, L. XUE, P. ZHONG, S. LI, Q. HUANG, H. LIU, Effect of ZrC-SiC content on microstructure and ablation properties of C/C composites, Trans. Nonferrous Met. Soc. China. 26 (2016) 2653-2664. doi:10.1016/S1003-6326(16)64392-3.
- J. Marschall, D.A. Pejakovic, W.G. Fahrenholtz, G.E. Hilmas, S. Zhu, J. Ridge, D.G. Fletcher, C.O. Asma, J. Thoemel, Oxidation of ZrB_2 -SiC Ultrahigh-Temperature Ceramic Composites in Dissociated Air, J. Thermophys. Heat Transf. 23 (2009) 267-278. doi:10.2514/1.39970.
- M. Oliveira Juliani, R.M. Rocha, Hot Pressing Sintering of ZrB_2 with P-SiC Addition, Mater. Sei. Forum. 820 (2015) 262-267. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.820.250.
- M.M. Opeka, I... Talmy, J. Zaykoski, Oxidation-based materials selection for 2000 °C + hypersonic aerosurfaces : Theoretical, J. Mater. Sei. 9 (2004) 5887-5904. doi:10.1023/B:JMISC.0000041686.21788.77.

N. Li, P. Hu, X. Zhang, X. Jin, P. Wang, B. Xu, Effect of surface microstructure on the temperature response of ZrB₂-SiC composites, *Ceram. Int.* 41 (2015) 4218-4222. doi:10.1016/j.ceramint.2014.11.024.

P. Hu, K. Gui, Y. Yang, S. Dong, X. Zhang, Effect of SiC Content on the Ablation and Oxidation Behavior of ZrB₂-Based Ultra High Temperature Ceramic Composites, *Materiais (Basel)*. 6 (2013) 1730-1744. doi:10.3390/ma6051730.

R. Savino, L. Criscuolo, G.D. Di Martino, S. Mungiguerra, Aero-thermo-chemical characterization of ultra-high-temperature ceramics for aerospace applications, *J. Eur. Ceram. Soc.* 38 (2018) 2937-2953. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2017.12.043.

S. Wang, H. Li, M. Ren, Y. Zuo, M. Yang, J. Zhang, J. Sun, Microstructure and ablation mechanism of C/C-ZrC-SiC composites in a plasma flame, *Ceram. Int.* 43 (2017) 10661-10667. doi:10.1016/j.ceramint.2017.04.089.

T.A. Parthasarathy, M.D. Petry, M.K. Cinibulk, T. Mathur, M.R. Gruber, Thermal and Oxidation Response of UHTC Leading Edge Samples Exposed to Simulated Hypersonic Flight Conditions, *J. Am. Ceram. Soc.* 96 (2013) 907-915. doi:10.1111/jace.12180.

W.G. Fahrenholtz, Thermodynamic Analysis of ZrB₂-SiC Oxidation: Formation of a SiC Depleted Region, *J. Am. Ceram. Soc.* 90 (2007) 143-148. doi:10.1111/j.1551-2916.2006.01329.x.

X. Zhang, P. Hu, J. Han, S. Meng, Ablation behavior of ZrB₂-SiC ultra high temperature ceramics under simulated atmospheric re-entry conditions, *Compos. Sci. Technol.* 68 (2008) 1718-1726. doi:10.1016/j.compscitech.2008.02.009.

Y. Wang, L. Luo, J. Sun, L. An, ZrB₂-SiC(Al) ceramics with high resistance to oxidation at 1500°C, *Corros. Sci.* 74 (2013) 154-158. DOI:10.1016/j.eorsci.2013.04.037.

CARACTERÍSTICAS DA SOLDABILIDADE A LASER DE AÇOS GALVANIZADOS DP980

Me. Francisco Henrique Cappi de Freitas

Prof. Dr. Marcelo dos Santos Pereira

Prof. Dr. Antônio Jorge Abdalla

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho -UNESP, Campus Guaratinguetá

Instituto de Estudos Avançados, Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial

RESUMO

Com a contínua motivação da indústria automobilística em reduzir o peso dos veículos sem causar impacto à segurança dos passageiros, o processo de soldagem a laser tem se mostrado determinante, principalmente devido à elevada produtividade aliada ao alto índice de integridade das juntas, porém toma-se necessário um conhecimento prévio dos materiais a serem soldados e da sua respectiva janela de processos. O presente trabalho contribuiu na investigação de um conjunto de parâmetros do processo de soldagem a laser com o intuito de restringir a janela de ajustes, de forma a garantir uma junta sobreposta de aço DP980 galvanizado sadia, sem a presença de defeitos visuais e internos. A junta resultante dos parâmetros que não apresentaram defeitos internos foi realizada um perfil de micro dureza como caracterização mecânica, demonstrando um amolecimento da zona afetada pelo calor devido o revenimento da martensita original do metal base. A melhor janela de processos de mostrou uma preferência para a utilização da variável potência entre 1300 e 1400 W aliada a uma velocidade de soldagem entre 2000 e 3000 mm/mio.

Palavras-chave: indústria automotiva; soldagem a laser; aços avançados de alta resistência.

ABSTRACT

With the continuous motivation of the automotive industry to reduce the weight of vehicles without impacting passenger safety, the laser welding process has been decisive, mainly due to the high productivity linked with the high integrity index of the joints, but it becomes prior knowledge of the materials to be welded and their respective process window. The presente work contributed to the investigation of a set of parameters of the laser welding process with the purpose of restricting the window of process adjustments, in order to guarantee a good sound overlapping joint of galvanized DP980 steel, without the presence of visual and internal flaws. The joint resulted from the parameters that did not present internal defects was performed a microhardness profile as mechanical characterization, and had showed a softened area in heat affected zone, because of a presence of tempered martensite originally from metal base. The best process window showed a preference for using the power variable between 1300 and 1400 W combined with a welding speed between 2000 and 3000 mm / min.

Keywords: automotive industry; laser beam welding; advanced high strength steels.



INTRODUÇÃO

A indústria automobilística motivada pela necessidade de redução de custo e melhorado design forçou as usinas siderúrgicas a avançarem tecnologicamente, que responderam rapidamente apontando uma melhora significativa nas tiras de aço, através do aumento da resistência mecânica, rigidez e capacidade de deformação, possibilitando assim a sua utilização em projetos com uma redução da espessura sem a apresentar riscos à segurança dos componentes. Como resultado, culminou o surgimento da família dos aços avançados de alta resistência (Advanced High Strength Steels -AHSS), que tem sido utilizado amplamente desde então. Estes materiais são classificados em muitos graus, tais como o "dual phase" (DP), "transformation-induced plasticity" (TRIP), "complex phase" (CP), "martensitic" (MS), "twining-induced plasticity" (TWIP), "ferritic bainitic" (FB), "hot-formed" (HF) e "postforming heat-treatable" (KEELER; KIMCHI, 2014).

Como mais avanços são evidentes à tecnologia siderúrgica, mais dificuldades se evidenciam na sua soldabilidade. O processo de soldagem a laser (LBW) vem se consolidando cada vez mais na indústria automobilística devido a sua característica de elevada densidade de energia, proporcionando uma fusão localizada e baixo aporte térmico (HONG; SHIN, 2017). Como o intervalo de parâmetros para o processo de soldagem a laser de aços avançados de alta resistência é amplo, é essencial um bom domínio nas técnicas a serem empregadas para que os resultados sejam satisfatórios, sem comprometer a integridade mecânica e a funcionalidade do componente.

Assim o trabalho em questão tem como objetivo a avaliação do processo de soldagem a laser de um aço Dual Phase, DP980, através da caracterização microestrutural de juntas sobrepostas. Foram comparadas cinco velocidades de soldagem entre 1500 e 6000 mm/min e cinco potências de soldagem entre 1000 e 1500 W, relacionando o grau de penetração, alargada zona afetada pelo calor e linha de fusão, constatando ou não a união das chapas. Foi realizado um perfil de microdureza Vickers para a condição isenta de defeitos internos.

REFERENCIAL TEÓRICO

Em virtude dos desafios atuais encarados pela indústria automotiva, principalmente pela elevada competitividade e assim almejar veículos mais leves, eficientes e acessíveis, com prioridade na segurança dos usuários, resultou em uma iniciativa recente da indústria global de aços em um programa chamado de FSV ("Future Steel Vehicle"). Este programa segue as mesmas concepções dos programas anteriores de projetos de concepção de automóveis: ULSAB ("Ultra Light Steel Auto Body") de 1998, ULSAC ("Ultra-Light Steel AutoClosures") de 2000, ULSAS

("Ultra-Light Steel Auto Suspension") de 2000, e ULSAB-AVC ("Ultra-Light Steel Auto Body" - Advanced Vehicle Concepts) de 2001, onde esboça projetos estruturais de aço que reduzem a sua massa em 29% e reduzem a emissão de gases causadores do efeito estufa em 70% quando comparados a uma estrutura de um veículo de primeira linha considerado benchmark, ao final do seu ciclo de utilização. O programa FSV inclui mais de 20 tipos de aços avançados para utilização em veículos híbridos e totalmente elétricos, que estarão disponíveis comercialmente até 2020. Dentre estes aços está o grau Dual Phase, que atualmente está acessível no mercado e hoje compreende em torno de 31,3% de todo material utilizado no projeto de um veículo automotivo (WORLD AUTOSTEEL, 2011).

A aplicação dos aços avançados de alta resistência pode ser genericamente classificada em duas grandes categorias: componentes que compõe o painel externo ou a carroceria e os componentes relacionados à estrutura primária, ou "Body-in-White - BIW" que serão posteriormente unidos através dos mais diferenciados processos de soldagem. No caso dos painéis externos ou carroceria, o foco continua sendo a obsessão na economia de combustível e redução de massa. Isto se traduz a concepção de aços conformáveis para a utilização em projetos complexos de componentes. Além do mais, a redução da forma padrão dos automóveis para a economia de massa, tem levado a utilização de aços IF ("Interstitial Free") de elevada resistência. Já na categoria estrutural primária, ou ainda, os chamados "Body-in-White" tem se direcionado para a redução de massa, com uma ênfase nos quesitos de segurança. Nestas aplicações o desenvolvimento de aços de elevada resistência tem sido aliado à elevada capacidade de conformação e elevada capacidade de absorção de energia, de forma a cumprir os quesitos relacionados à segurança dos usuários. Esta última categoria é onde se encontramos aços Dual Phase (BHATTACHARYA, 2011).

O aço Dual Phase consiste em uma segunda fase dura formada por ilhas de martensita, envoltas por uma matriz macia de ferrita, enquanto que esta fase garante uma ductilidade ao aço, aquela é responsável pela resistência mecânica. Aumentando a fração volumétrica da segunda fase dura geralmente aumenta a resistência. Quando este aço deforma, toda a energia é concentrada na fase ferrita de baixa resistência, envolvendo as ilhas de martensita, ocasionando uma elevada taxa de encruamento (valor n). Esta elevada capacidade de encruamento acrescida da excelente ductilidade confere ao aço DP uma resistência à tração muito maior que os aços convencionais de limite de escoamento similares. A sua produção envolve um resfriamento controlado partindo-se da fase austenita (em produtos laminados quente) ou partindo-se de um campo bifásico ferrita e austenita (em produtos recozidos após laminação a frio e em produtos revestidos a quente) com o intuito de transformar alguma austenita em ferrita antes que o resfriamento rápido transforme a austenita remanescente em martensita. Um pequeno teor de bainita e austenita retida pode estar presente. O teor de carbono habilita a possibilidade da formação de martensita através de taxas comuns de resfriamento rápido, aumentando assim a endurecibilidade do material.

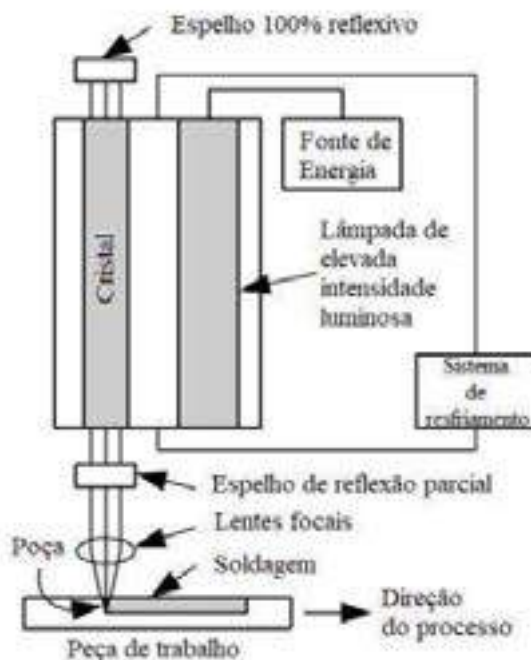
Os aços Dual Phase fabricados pela rota de laminação a frio foram desenvolvidos através das vantagens da têmpera em água realizada na linha de recozimento contínua e são baseados na sua temperatura de recozimento inter-crítica. Quanto mais próxima a temperatura de recozimento está da referência de transformação austenítica, maior será o teor de carbono dissolvido na austenita, possibilitando uma maior endurecibilidade e fração volumétrica de martensita. Adicionalmente, os efeitos da temperatura de recozimento e a taxa de resfriamento estão relacionados. Quanto menor a temperatura de recozimento na região bifásica ferrita -austenita, e maior a quantidade de carbono na austenita, menor será a necessidade da taxa de resfriamento necessária para que a transformação martensítica seja possível, evitando as fases perlita e bainita (BHATTACHARYA, 2011).

Os teores de manganês, cromo, vanádio, molibdênio e níquel, tanto em conjunto, quanto individualmente, também contribuem para o aumento da endurecibilidade (KEELER; KIMCHI, 2014). Entretanto a possibilidade de uma têmpera diretamente da temperatura inter-crítica pode-se atingir níveis elevados de resistência mecânica sem a necessidade de se incluir elementos de liga que encarecem o aço. O volume desejado da fração de martensita pode ser atingido através da têmpera direta em água a partir da temperatura inter-crítica, porém sem um resfriamento lento inicial, entretanto as propriedades mecânicas são sensíveis às flutuações dos parâmetros do tratamento de recozimento, que afetam a quantidade de austenita formada.

Os aços Dual Phase galvanizados exigem a existência de uma linha de banho de galvanização a quente contínua ("continuous hot dip galvanizing line"), que é conduzida após a laminação do aço. Trata-se de um processo onde a tira de aço em temperaturas entre 600 e 630°C é introduzida em um banho de Zn. Assim, devido à elevada condutividade do Zn e de componentes que auxiliam a agitação do banho, uma taxa de resfriamento próxima de 100°C/ é atingida. Uma microestrutura de aços tipicamente galvanizados ("GI") contem um tipo dominante de martensita com pequenas porções de bainita, como fases responsáveis pela resistência mecânica, na matriz dúctil de ferrita (CHO et al., 2011). O DP 980 na condição galvanizada ("GI"), escopo do presente trabalho, é atualmente aplicado em componentes da estrutura primária de segurança, como o pilar-B, painel do piso, berço do motor, entre outros.

O processo de soldagem a laser é um processo de união por fusão da metal base, onde o calor necessário para esta fusão é oriundo de um feixe laser com elevada densidade de energia e em grande parte das situações conduzidas de forma autógena. O feixe laser pode ser produzido a partir de um estado sólido, ou a partir de um gás. Em ambos os casos o feixe é colimado e direcionado por um sistema óptico de forma a atingir elevadas densidades de energia. No laser obtido a partir de um estado sólido, um cristal é dopado com pequenas concentrações de elementos de transição ou elementos de terras-raras. No laser YAG, um cristal de ítrio-lumínio ranada é dopado com neodímio, este elemento dopante tem seus elétrons excitados devido à sua exposição com lâmpadas que emitem uma luz de elevada intensidade luminosa. Estes elétrons atingem níveis de energia maiores, e quando retomam ao seu estado energético normal, o laser é emitido. A Figura 1 ilustra o funcionamento do laser a partir de um estado sólido segundo uma adaptação de Kou.

Figura 1-Processo de soldagem a partir de um laser tipo estado sólido



Fonte: Adaptado de Kou, (2003).

Os lasers de fibra são aqueles que utilizam uma fibra óptica dopada como maneira de aumentar a amplificação, ou seja, o ganho médio. A dopagem é realizada através de íons de terras raras, como o érbio, neodímio, itérbio, tálio ou praseodímio. Estes tipos de lasers demonstraram grande progresso nos últimos anos, e eventualmente irão substituir aqueles emitidos via cristais dopados. A sua área de aplicação são lasers de elevada potência para processamento de materiais (PASCHOTTA, 2008).

Um plasma é produzido durante o processo de soldagem a laser, especialmente em níveis de elevada potência, devido a ionização do gás de proteção. O plasma pode absorver ou dispersar o feixe laser, podendo resultar em uma redução na profundidade de penetração do cordão de solda. Portanto torna-se necessário a remoção ou supressão do plasma durante o processo. O gás de proteção que protege a poça de metal fundido pode ser direcionado lateralmente de forma a desviar o plasma do caminho do feixe laser.

Existem dois modos ou funções distintas no processo de soldagem a laser. Um modo desoldagem por condução e outro modo de soldagem por "keyhole". Quando a densidade de potência do feixe laser atinge uma ordem de 10^9 W/m², a poça de fusão começa a evaporar e segue aumentando até se atingir uma densidade de 10^{10} W/m². Neste valor a pressão de recuo do vapor de metal empurra o metal líquido no sentido inferior e sentido lateral da junta, e uma profunda capilaridade é gerada, a qual se dá o nome "keyhole" (DOWES, 1992). Durante este processo, o "keyhole" se mantém aberto devido ao balanço dinâmico entre a tensão de superfície do metal líquido, a pressão de vapor do metal e o plasma que é induzido pelo laser. Ao irradiar na parede do "keyhole", o feixe laser é refletido inúmeras vezes, o que o faz um modo de elevada eficiência energética (GLADUSH; SMUROV, 2011). Desta maneira, o processo de soldagem a laser alia a produção de cordões com elevada penetração e estreitas zonas afetadas pelo calor (ZAC) a velocidades elevadas de soldagem, de forma a evitar grandes distorções na peça de trabalho.

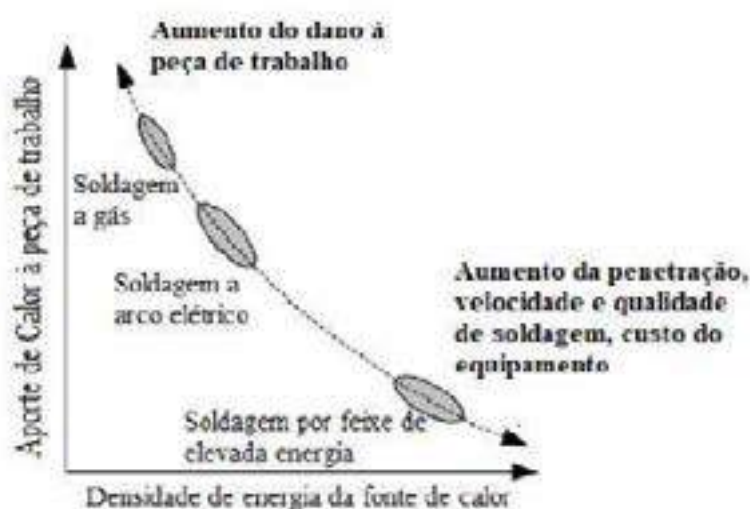
A eficiência da fonte de calor é dada como a relação da taxa da transferência de calor da fonte de calor à peça de trabalho em relação à potência nominal da fonte. Uma porção da energia é transferida na forma de calor à peça de trabalho e o restante da energia é perdido para o ambiente. Note que o termo "heat input" ou "aporte térmico", usualmente utilizado pela comunidade de soldagem, refere-se à potência nominal da fonte. Assim a eficiência do processo de soldagem a laser pode ser muito pequena devido à elevada refletividade do feixe laser em relação à superfície do metal. Esta eficiência pode ser melhorada por modificações na superfície tais como aumento da rugosidade ou revestimento (KOU, 2003). Quando se compara o processo a laser com outros processos de soldagem tradicionais, como os de soldagem a gás e por arco elétrico, nota-se uma diminuição do aporte de calor transferido à peça de trabalho, graças à formação do "keyhole", evitando assim a perda de resistência mecânica e a distorção da peça de trabalho. Além do mais, um aumento da densidade de energia resulta em uma maior penetração do cordão de solda em maiores condições de velocidade, com um aumento da qualidade do visual da soldagem. Estas vantagens podem ser visualizadas na Figura 2.

"Tailor-welded blanks ou laser-welded blanks" é um importante técnica de operação utilizada na indústria automotiva que alia os processos de soldagem a laser, anterior às diferentes etapas de conformação plástica, resultando na produção de semiacabados chamados de "blanks", possibilitando uma redução de massa, minimização do custo, otimização da matéria prima e redução de refugo. Esta técnica consiste na união de topo ou sobreposto de duas ou mais tiras de

materiais similares ou dissimilares com diferentes tipos de revestimento, e espessuras, formando um componente destinado para compor a estrutura primária ou BIW, principalmente aqueles componentes que exigem uma elevada resistência e rigidez. Outra vantagem é que a união das chapas previamente do processo de conformação possibilita a redução do número de ferramentas e, portanto, maior precisão no processo de estampagem. (UCHIHARA; FUKUI, 2006; MERKLEIN et al., 2014).

Assim toma-se claro a importância e a completa fundamentação necessária do processo de soldagem a laser, assim como o conhecimento prévio dos materiais a serem soldados, para que o resultado seja um cordão de solda sadio e com propriedades mecânicas íntegras.

Figura 2 -Variação do aporte de calor à peça de trabalho em relação à densidade de energia da fonte de calor dos processos de soldagem



Fonte: Adaptado de Kou, (2003).

METODOLOGIA

Para a confecção da junta foram utilizadas duas chapas de aço DP980 com dimensões de 50x50x1,2 mm, na condição galvanizada. A composição química da metal base e do revestimento está informada na Tabela 1. Anterior à soldagem, as superfícies das chapas foram lixadas com uma lixa 200 mesh de carvão de silício (SiC), de forma a diminuir a refletividade do feixe, e lavadas com acetona 95% PA com o intuito de eliminar impurezas que possam prejudicar o processo.

Tabela 1-Composição química do Aço DP980, % peso

% peso	Al	B	C	Cr	Cu	Mn	Mo	N
Metal base	0,0360	0,0013	0,0954	0,2840	0,0130	2,410	0,1930	0,0028
Revestimento	1,52	-	-	-	-	2,26	-	-

% peso	Nb	Ni	P	S	Si	Ti	Zn
Metal base	0,0144	0,007	0,0130	0,0028	0,2910	0,0180	-
Revestimento	-	-	-	-	0,4	-	2,35

As juntas foram soldadas pelo processo a laser de maneira autógena na função "keyhole" em um perfil sobreposto, sem abertura, na posição plana, no sentido coincidente da laminação do material. Utilizou-se a estrutura do laboratório DedALO do IEAv/CTA, equipado com um laser de fibra de vidro dopado com Itérbio (Yb), modelo IPG-YLR-2000, com 50 μ m de diâmetro e 5 metros de extensão, resultando em um comprimento de onda de 1070 nm e um máximo de 2000 W de potência. A junta foi posicionada em uma mesa CNC com servo motores controlados por computador, permitindo uma resolução máxima de 5 μ m no eixo x-y e 1 μ m no eixo z, este responsável pelo controle vertical e controle focal do feixe, e com o auxílio de grampos, a junta foi fixada. A Figura 3 ilustra o posicionamento da junta momentos antes da soldagem.

Figura 3 - Posicionamento da junta sobreposta na mesa CNC



Fonte: autor

A Tabela 2 abaixo mostra a relação de potência (em W), a velocidade de soldagem (mm/min) e a posição do foco do feixe (M=Interface entre as chapas, U=Superfície superior da chapa de primeiro contato com o feixe, D=Superfície inferior da chapa) para os 16 cordões investigados, de forma a estabelecer uma melhor janela de soldabilidade. Ficou estabelecido o Ar como gás de proteção a um fluxo constante de 8 Vmin para todas as condições experimentais.

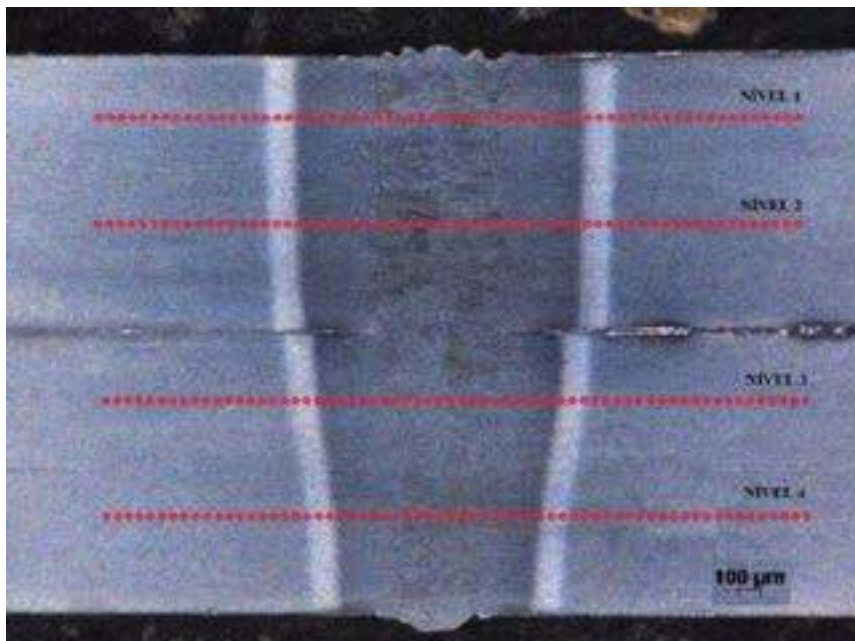
Tabela 2 -Relação das variáveis de processo

Nº da Soldagem	Potência (W)	Velocidade (mm/min)	Posição Focal
1	1000	1500	M
2	1300	1500	M
3	1500	1500	M
4	1000	3000	M
5	1300	3000	M
6	1500	3000	M
7	1500	3000	U
8	1000	6000	M
9	1300	6000	M
10	1500	6000	M
11	1500	6000	D
12	1300	2000	U
13	1400	2000	U
14	1400	3000	U
15	1400	4000	U
16	1200	3000	U

Após a concepção da soldagem, as amostras foram tomadas transversalmente ao cordão, lixadas, polidas e atacadas com Nital 3%. A caracterização mecânica foi realizada na amostra que demonstrou uma linha de solda sadia com ausência de poros, defeitos e falta de fusão.

Esta caracterização foi feita através de um ensaio de dureza em um microdurômetro da marca Wilson, modelo 401 MVD, utilizando uma carga de 200 g com um tempo de 15s por indentação. Foi levantado quatro perfis de microdureza ao longo da espessura e penetração do cordão de solda, de maneira a comparar as diferentes áreas, onde cada um deles abrangeu as regiões do metal base (MB), zona afetada pelo calor (ZAC) e linha de fusão (LF), sendo possível a comparação dos valores de dureza das diferentes regiões. O primeiro e o segundo perfil foi realizado a uma distância de 0,4 e 0,8 mm do topo da superfície, ou face da solda, sendo denominados como Nível 1 e 2 respectivamente. O terceiro e o quarto perfil foi realizado a uma distância de 0,4 e 0,8 mm da interface de união entre as chapas, sendo denominados como Nível 3 e 4 respectivamente. No total foram realizadas 64 medições de dureza em cada perfil analisado, com uma distância de cada indentação de 0,118 mm. A Figura 4 ilustra o posicionamento dos perfis de microdureza nos diferentes níveis investigados.

Figura 4 - Posição dos perfis de microdureza nos diferentes níveis de espessura ou penetração nº12



Fonte: Próprio autor

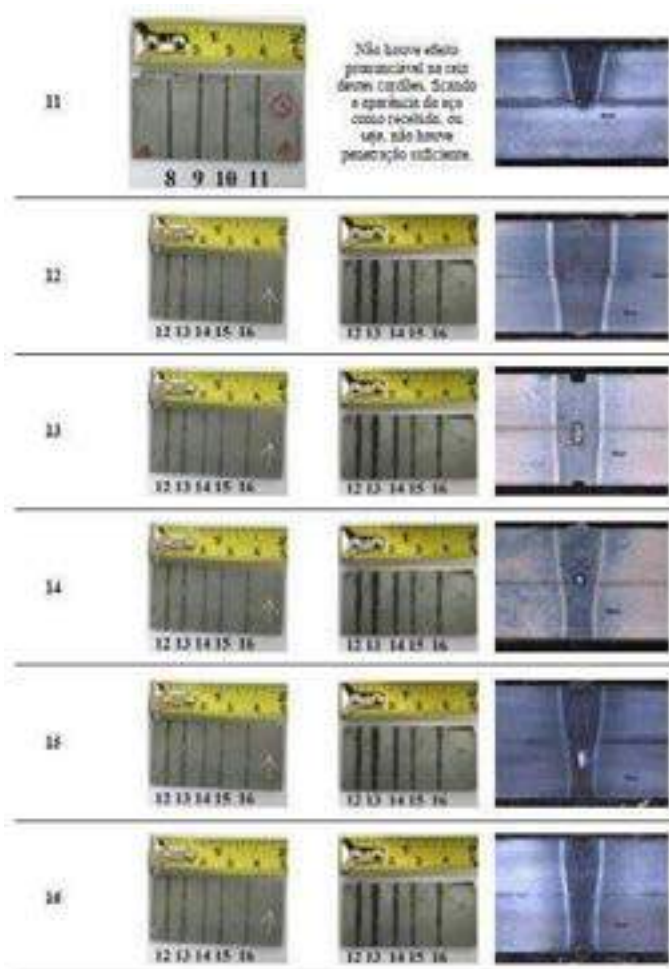
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em um primeiro momento, houve uma preocupação no aspecto visual das soldagens, avaliando a existência de defeitos superficiais como mordeduras e respingos de metal na face e na raiz do cordão. Após o seccionamento da seção transversal e posterior preparo metalográfico, foi associado o aspecto visual à qualidade dos cordões, avaliando o grau de penetração, o tamanho da zona afetada pelo calor {ZAC) e a efetividade da união das chapas propriamente dita, evidenciando a presença ou não de poros ou defeitos na interface. Estes resultados estão ilustrados na Tabela 3. Com relação ao aspecto visual da face, nota-se uma qualidade ruim nos cordões 1 a 7, com a presença de mordeduras e excesso de respingos. Uma qualidade boa é notada no visual das faces dos cordões 12 a 16, sem a presença de respingos.

Com relação ao aspecto visual da raiz, os cordões 1 a 7 tiveram um aspecto bom sem a presença de defeitos. Nas raízes de 8 a 11 não houve efeito pronunciável da transferência de calor imposto pelo feixe, resultando em uma ausência da fusão na interface das chapas, logo não há presença de raiz para estes cordões. Na raiz dos cordões 12 a 14 nota-se um excesso de metal fundido nos arredores do cordão, ocasionando mordeduras. Isto se deve ao excesso de calor imposto à peça. Os cordões 15 e 16 possui um visual bom da raiz sem demonstrar excesso de metal fundido resolidificado.

Tabela 3 -Avaliação da soldabilidade das juntas sobrepostas

Nº da Soldagem	Aspecto Visual da Face	Aspecto Visual da Raiz	Aspecto Macrográfico, 1.º
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8		Não houve efeito pronunciado na raiz dos cordões, ficando a aparência do aço como recebido, ou seja, não houve penetração suficiente.	
9		Não houve efeito pronunciado na raiz dos cordões, ficando a aparência do aço como recebido, ou seja, não houve penetração suficiente.	
10		Não houve efeito pronunciado na raiz dos cordões, ficando a aparência do aço como recebido, ou seja, não houve penetração suficiente.	



Uma razão de aspecto foi determinada através do resultado da relação da penetração, P , e a largura, L , para cada um dos cordões de solda. Para a largura, L , foi considerado a maior dimensão obtida da medição de dois valores. Visto que a área da ZAC é dada como uma região de instabilidade microestrutural, e a penetração relacionada com o grau de integridade do cordão de solda, buscou-se uma elevada razão de aspecto, ou seja, uma elevada penetração e um baixo comprimento da ZAC. Estes resultados podem ser verificados na Tabela 4.

Tabela 4 - Razão de aspecto dos cordões de solda

Nº da Soldagem	Penetração, P (µm)	Largura, L (µm)	Razão de Aspecto, P/L
1	2246,55	1931,58	1,16
2	1274,92	1761,49	0,72
3	2003,06	1818,25	1,10
4	945,68	1053,59	0,90
5	2404,09	1402,96	1,71
6	2453,19	1295,04	1,89
7	2376,00	1402,96	1,69
8	1000,68	876,16	1,14
9	1156,79	888,97	1,30
10	991,73	898,12	1,10
11	1346,5	978,62	1,38
12	2410,92	1540,14	1,57
13	2162,12	1156,03	1,87
14	2420,02	1177,97	2,05
15	2416,53	1037,13	2,33
16	2227,92	967,62	2,30

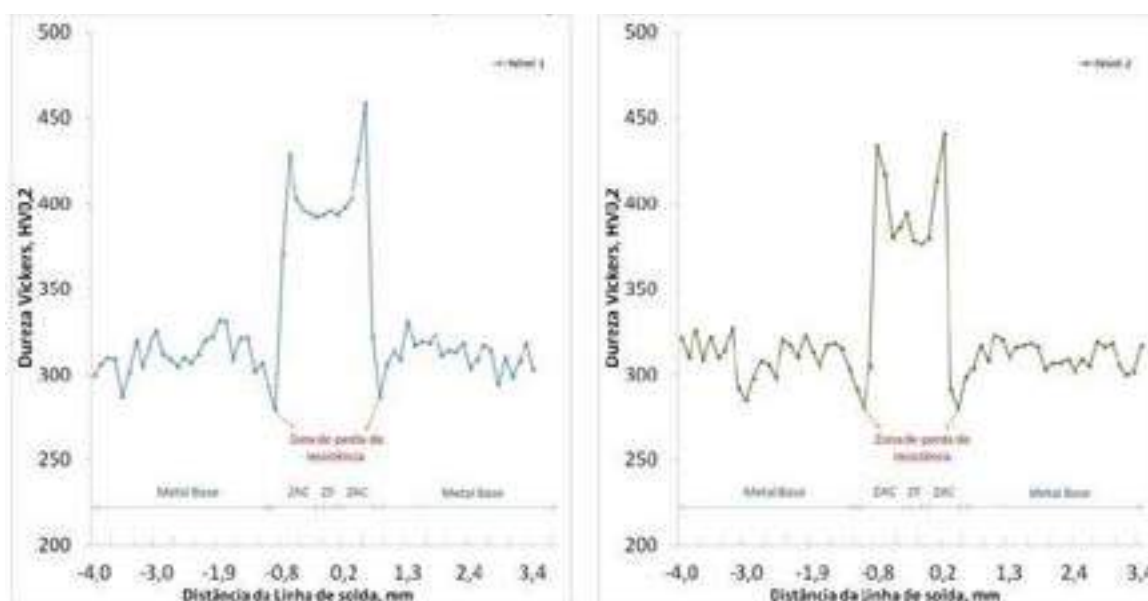
Conforme as informações da Tabela 4 as melhores razões de aspecto (acima de 2,00) são aqueles referentes aos cordões 14 a 16, onde se aliou uma excelente penetração com as menores dimensões de ZAC. Entretanto ao analisar-se a Tabela 3, notam-se nestes cordões defeitos significativos na interface entre as chapas, estes com uma característica típica de falta de fusão ou porosidade. Tais defeitos podem comprometer a integridade estrutural dos cordões. Dentre as razões de aspecto intermediárias, ou seja, para valores entre 1,50 e 2,00, estão os cordões 5, 6, 7, 12 e 13. Com exceção da soldagem nº 12, todas apresentaram a mesma característica de defeito na interface mencionada anteriormente. As razões de aspecto abaixo de 1,50 não foram consideradas como satisfatórias devido ao baixo grau de penetração atingido pela soldagem. Por conta disto, dentre as dezesseis combinações de parâmetros averiguadas, somente a combinação de número 12 se mostrou satisfatória para seguir em frente quanto à caracterização mecânica por análise de microdureza Vickers.

A justificativa para os defeitos notados na maioria das macrografias, que apresentam enorme semelhança entre os diferentes cordões, ocorrendo na interface das chapas, é devido a inexistência de abertura entre as chapas. Conforme mencionado por Ma J. et al., a configuração de juntas de aços galvanizados, de forma sobreposta sem a existência de abertura, não favorece o escape do Zn, que está no estado de vapor, antes mesmo da fusão do aço. Com isto, a alta pressão de vapor de Zn expelle o metal líquido para fora da poça de fusão, resultando em poros e bolhas no interior do cordão.

Os resultados dos perfis de microdureza obtidos podem ser verificados nas Figuras 5 e 6. Pode-se notar que os resultados para o MB têm uma média muito próxima a 300 HVO, 2 para os quatro níveis investigados. Quando se parte do MB em direção a ZAC nota-se uma região de instabilidade com uma queda abrupta nos valores de dureza, alcançando valores menores que aqueles

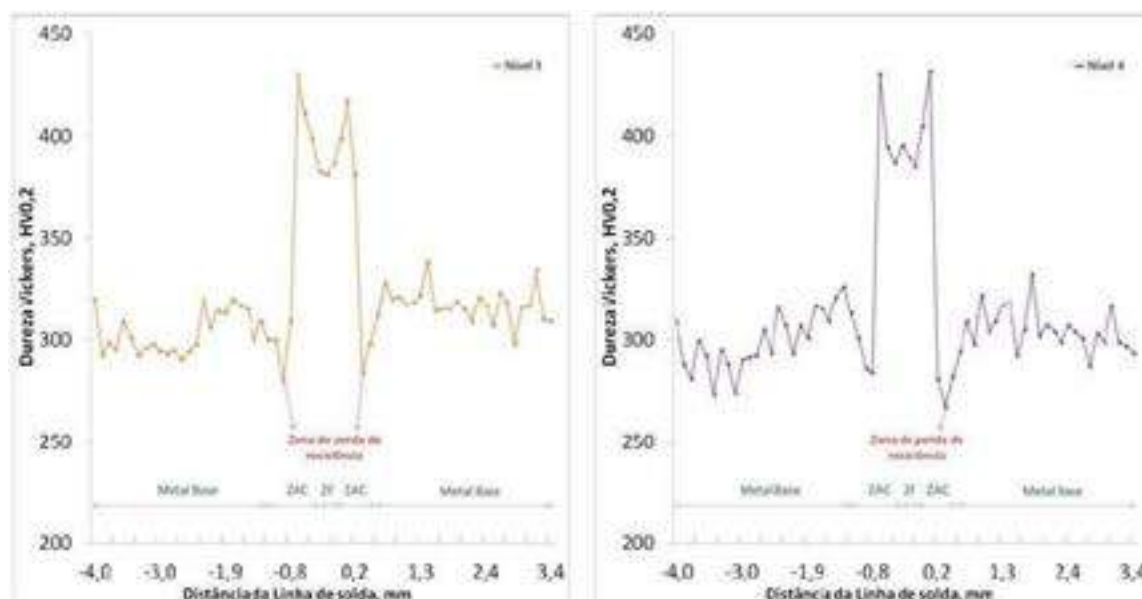
do MB, ocasionando um amolecimento da ZAC. Conforme investigado por Baltazar Hernandez et al. este amolecimento se deve ao revenimento das ilhas de martensita pertencentes ao MB. O grau deste revenimento depende fundamentalmente da difusão do carbono, que é função da temperatura e tempo. No caso do processo de soldagem o revenimento é tipicamente não isotérmico, onde a permanência do material na temperatura de revenimento é desprezível seguido de um resfriamento rápido. Justamente por este tempo ser desprezível, o revenimento não isotérmico é fortemente influenciado pela taxa de aquecimento e consequentemente o aporte de calor à peça. Na sequência, ainda na região da ZAC, verifica-se um pico de dureza com valores que variam entre 400 e 460 HV0,2. Isto se deve ao aumento da fração volumétrica da fase martensítica devido ao rápido resfriamento oriundo do processo, resultado da elevada transferência de calor.

Figura 5-Resultados dos perfis de microdureza obtidos no cordão de solda nº 12 para os níveis 1 e 2 de espessura ou penetração do cordão



Fonte: Próprio autor

Figura 6 - Resultados dos perfis de microdureza obtidos no cordão de solda nº 12 para os níveis 3 e 4 de espessura ou penetração do cordão



Fonte: Próprio autor

CONCLUSÕES

Os defeitos dos cordões são oriundos da condição galvanizada das chapas. A melhor característica entre variáveis experimentadas garante uma largura mínima de cordão de 0,96mm e, portanto, uma menor área de instabilidade microestrutural. A microdureza mostra uma amplitude de 180 HV, devido a maior fração volumétrica de martensita na ZAC, apresentando pontos de amolecimento devido ao revenimento da martensita da metal base. Nestas condições conclui-se que a melhor janela de processo para a soldagem a laser de juntas sobrepostas de aços galvanizados DP980, com espessuras de 1,2 mm, pode estar entre uma potência de 1300 a 1400 W e uma velocidade de soldagem entre 2000 a 3000 mm/min.

REFERÊNCIAS

BALTAZAR HERNANDEZ V.H., NAYAK S.S., ZHOU Y., Tempering of Martensite in Dual Phase Steels and Its Effects on Softening Behavior. The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International 2011.

BHATTACHARYA D., Metallurgical Perspectives on Advanced Sheet Steels for Automotive Applications. Advanced Steels - The Recent Scenario in Steel Science and Technology, Springer - Verlag Berlin Heidelberg, 2011. 104

CHOK., REDKINK.V., HUAM., GARCIA C.I., DEARDO A.J., Recent Development of Nb Containing DP590, DP780 and DP980 Steels for Production on Continuous Galvanizing Lines. Advanced Steels - The Recent Scenario in Steel Science and Technology, Springer - Verlag Berlin Heidelberg, 2011.

DOWES C., Laser Welding: A practical guide, Abington Publishing, 1992.

GLADUSH G. G., SMUROV I., Physics of Laser Materials Processing: Theory and Experiment, Springer Series in Materials Science, Springer - Verlag Berlin Heidelberg, 2011.

HONG K., SHIN Y. Prospects of laser welding technology in the automotive industry: a review. Journal of Materials Processing Technology, 2017.

KEELER S., KIMCHI M., Advanced High Strength Steels Application and Guidelines, version 5, Worldauto steel, 2014.

KOU, S. Welding Metallurgy. Second Edition. John Wiley & Sons, Inc., 2003.

MA J., KONG F., CARLSON B., KOVACEVIC R., Mitigating Zinc Vapor Induced Weld Defects in Laser Welding of Galvanized High-Strength Steel by Using Different Supplementary Means, Welding Processes, IntechOpen, 2012.

MERKLEIN M., JOHANNES M., LECHNER M., KUPPERT A., A review on tailored blanks Production, applications and evaluation, Journal of Materials Processing Technology 214 (2014) 151-164.

PASCHOTTA, R., article on 'fiber lasers' in the Encyclopedia of Laser Physics and Technology, 1st edition, 2008.

UCHIHARA, M., FUKUI, K. Formability of tailor welded blanks fabricated by different welding processes: study of tailor welded blanks using automotive high-strength steel sheets (1st report). Welding International, 20, 2006, 612-621.

ESTUDO DOS EFEITOS DA OXIDAÇÃO ELETROLÍTICA A PLASMA NA LIGA-AA-5052-H34 EM SOLUÇÃO DE TETRABORATO DE SÓDIO

Gabriel Nunes da Silva

Cristian Cley Paterniani Rita -Doutorando

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

ITA - Instituto Tecnológico de Aeronáutica

RESUMO

O trabalho aqui proposto tem como objetivo estudar o comportamento da superfície da liga AA-5052-H34 submetido ao Processo de Oxidação Eletrolítica a Plasma. Em especial estudar a influência do tempo de deposição do óxido, da corrente elétrica aplicada, da temperatura e concentração do soluto de tetraborato de sódio, para a formação da camada de óxido; além de caracterizar o revestimento aplicado, através da análise micro estrutural e da composição química dos revestimentos por análise metalográfica, MEV e EDS com o intuito de futuramente agregar melhorias ao processo, como facilitar e melhorar a formação da camada de óxido protetor no material.

Palavras-chave: Oxidação Eletrolítica a Plasma, Engenharia de Superfície, Revestimento, Camada de Passivação e AA5052.

ABSTRACT

The work proposed here aims to study the behavior of the surface of the AA5052-H34 alloy submitted to the Electrolytic to Plasma Oxidation Process. In particular, to study the influence of the time of deposition of the oxide, of the applied electric current, of the temperature and concentration of the solute of sodium tetraborate, for the formation of the oxide layer; in addition to characterizing the applied coating, through the microstructural analysis and the chemical composition of the coatings by metallographic analysis, MEV and EDS with the purpose of to future to add improvements to the process, as to facilitate and to improve the formation of protective layer of oxide in the material.

Keywords: Plasma Electrolytic Oxidation, Surface Engineering, Coating, Passivation Layer and AA5052.



INTRODUÇÃO

O alumínio é o terceiro elemento metálico mais abundante na terra e devido sua baixa densidade, boa usinabilidade e excelente resistência à corrosão é um dos materiais mais utilizados na indústria (GONÇALVES, R. A, 2012). O alumínio tem sido um atrativo no segmento automobilístico por reduzir gastos com combustível (MCAULEY, J.W, 2003) devido seu peso leve em relação a de outros metais como o aço, além disso, com base na sua resistência física e à corrosão, permite-lhe ser amplamente utilizado em diversos campos da indústria. Por outro lado, sua baixa dureza requer deste material um tratamento superficial diferenciado, afim de que seja concedido resistência suficiente tanto para a corrosão quanto para o desgaste.

O tratamento de superfície dos materiais tem por finalidade conferir ao material novas características sem alterar suas propriedades internas, e como consequência disso, aumentar o campo de suas aplicações. A utilização de revestimentos cerâmicos em metais tem se mostrado uma técnica bastante atrativa para a indústria por promover excelente resistência ao desgaste e a corrosão (ANTONIO, C. A, 2011).

Embora o processo eletrolítico a plasma (PEO) seja conhecido desde a década de 60, somente décadas depois despertou o interesse para sua aplicação em diversas áreas (P. GUPTA, 2007), devido ao seu caráter econômico e ecologicamente correto. Comparado ao processo convencional, o PEO pode ser realizado em única etapa e em tempos reduzidos, e utiliza soluções básicas ou alcalinas. Isto é possível devido às altas tensões na fonte de energia usadas no processo, que estabelecem o plasma no meio eletrolítico sobre a camada em crescimento, por isso também denominado anodização a plasma ou galvanização a plasma. A ação simultânea da descarga elétrica com as reações eletroquímicas, induzem novos mecanismos físicos - químicos que geram camadas oxidadas com propriedades únicas (L. ZHU, 2016).

Como a anodização convencional, a anodização a plasma pode ser realizado em fonte de corrente contínua (DC), mas pesquisas revelaram que fontes de corrente alternada (AC) permitem a produção de filmes com menos porosidade superficial, isto é, mais uniformes (A.LUGOVSKOY, 2013). Atualmente, fontes pulsadas, bipolares, ou híbridas tem sido usada nas pesquisas (R. O. HUSSEIN and D. O. NORTHWOOD, 2014), para atingirem revestimentos de qualidade superior. Como uma tecnologia nova, muitos estudos sobre a anodização a plasma tem sido realizado em diferentes ligas de Al, Mg, Ti e outros metais. Mas, devido à quantidade de variáveis envolvidas no processo, muito estudo ainda deve ser feito.

Assim, devido às características interessantes para aplicação tecnológica, este projeto foi proposto para o estudo de sua aplicação em ligas de alumínio 5052, de vasta aplicação em transportes, aeronáutica e naval. Para viabilizar o projeto de ICTI será utilizado uma fonte DC variando de (0 -20 A) e (0 - 1000 V). A solução eletrolítica utilizada para esse projeto foi a solução de tetraborato de sódio. Foi realizado a análise micro estrutural, composição química dos revestimentos através de análise metalográfica, MEV e EDS, para entendimento das propriedades da camada de óxido formada no AA 5052-H34.

REFERENCIAL TEÓRICO**Anodização Convencional**

É um processo galvânico que tem por finalidade criar de forma controlada uma camada oxidada na superfície do alumínio, e permitir que este tenha uma resistência ao desgaste mais elevada, bem como uma elevada resistência a corrosão. Este processo consiste em várias etapas, sendo:

1. Pré-tratamento - fase de recebimento e montagem das peças de alumínio a serem anodizadas em ganchos, confeccionados em titânio ou em ligas de alumínio.
2. Montagem dos ganchos - fixação justa para ter um bom contato elétrico e permiti estabilidade durante o processo.
3. Desengraxe - com finalidade de remoção de óleos e gorduras da superfície das peças pela aplicação de ácido sulfúrico (H_2SO_4), variando de 60 a 80 gil.
4. Fosqueamento - ataque da superfície do alumínio com solução de soda cáustica adicionado ou não de um jateamento (tratamento mecânico). Esta etapa nivela a superfície das peças, sendo a concentração de soda de 60 a 100 gil, em temperatura entre 50 -60 °C.
5. Neutralização - para remover quaisquer partículas de tenham surgido nos processos anteriores, sendo realizada com H_2SO_4 .
6. Anodização -para criar controladamente a camada oxidada de alumina (Al_2O_3) sobre a superfície das ligas. Os parâmetros da anodização são extremamente importantes, e de acordo com os procedimentos da empresa TECNOQUIM, estes são:

Tabela 1 - Parametros para o processode anodização

Condições de trabalho	Faixa operacional
Concentração de H_2SO_4 (g/l)	150 – 220
Tensão (V)	14 – 20
Temperatura (°C)	17 – 28
Densidade de corrente (A/dm^2)	1,2 – 2,0
Aluminio dissolvido (g/l)	25 (máximo)
Espessura da camada (μm)	11 – 25
Contra eletrodo	Aluminio

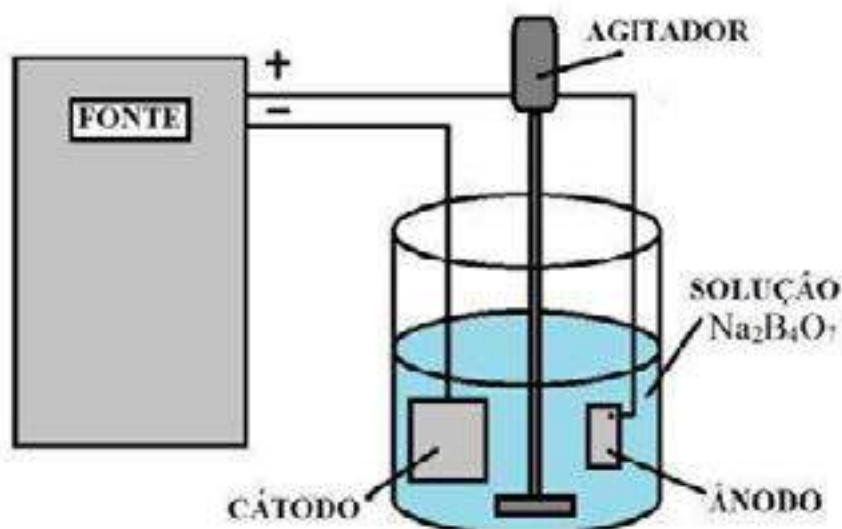
Fonte: TECNOQUIM

7. Selagem - consiste em um tratamento para selar os poros na camada de alumina produzida durante o processo de anodização.
8. Coloração - esta etapa é opcional, aplicada em peças que precisem de acabamento estético. Consiste em um banho contendo sais metálicos, como por exemplo, o sulfato de estanho.

Anodização eletrolítica a plasma

A oxidação eletrolítica por plasma (PEO), também conhecida como oxidação do plasma eletrolítico (EPO), ou oxidação por microarc (MAO), é um processo de tratamento de superfície eletroquímico para a geração de revestimentos de óxidos em metais. É semelhante à anodização convencional, mas emprega potenciais mais altas, de modo que as descargas (Darband, Ghat, 2011) ocorram e o plasma resultante modifique a estrutura da camada de óxido. Este processo pode ser usado para criar uma camada de óxido com maior espessura (dezenas ou centenas de micrômetros) na superfície de metais como o alumínio, o magnésio, o titânio, entre outros. Esses revestimentos podem oferecer proteção contra desgaste, corrosão ou calor, bem como isolamento elétrico. O processo de tratamento foi realizado em um protótipo conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1-Diagrama do aparato experimental



Fonte: Autor (2019).

O revestimento é uma conversão química do metal substrato em seu óxido e cresce tanto para dentro como para fora da superfície original do metal. Por crescer dentro do substrato, tem excelente adesão ao substrato metálico. Uma ampla gama de ligas de substrato pode ser revestida, incluindo todas as ligas de alumínio forjado e a maioria das ligas fundidas, embora altos níveis de silício possam reduzir a qualidade do revestimento. Como este processo utiliza tensões muito maiores (centenas de volts) que aquelas aplicadas na anodização convencional, o que permite o aparecimento de micro plasmas na superfície da peça a ser tratada (P. GUPTA, 2007), como pode ser visto na figura 2.

Figura 2 - Plasma eletrolítico



Fonte:Autor (2019).

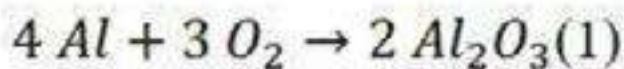
A anodização a plasma é um tratamento de única etapa, e não precisa utilizar soluções agressivas ao homem ou ao meio ambiente (P. GUPTA, 2007; A.L. Yerokhin, 1999).

Apresença de microplasmas no eletrodo de trabalho (anodo) causa o aumento das reações eletroquímicas dentro da solução eletrolítica, o que resulta em um processo mais rápido, e com maiores taxas de deposição dos filmes óxidos (A.L. Yerokhin, 1999).

Mas, assim como a anodização convencional e outros tratamentos eletrolíticos, as modificações superficiais resultantes do processo dependem dos parâmetros aplicados, tais como a tensão de trabalho, a corrente, temperatura, composição química das peças a serem tratadas, os tipos de eletrólitos (P.GUPTA, 2007;A.L. Yerokhin, 1999).

Alumínio

É o elemento metálico mais abundante na crosta terrestre, com densidade de aproximadamente 2,7 g/cm³ (- 1/3 da densidade do aço) e relativa resistência mecânica. Outra característica do alumínio é sua excelente resistência a corrosão, ou sua passividade. Isto é resultado da reação do alumínio (Al) com o oxigênio (O₂) do meio ambiente, gerando uma camada oxidada nanométrica de alumina, como mostra a equação 1.



O alumínio na sua forma pura apresenta uma aplicação limitada, porém na forma de ligas, ele pode ser empregado desde uma simples lata de refrigerante até em importantes componentes de estruturas aeroespaciais.

As ligas de alumínio recebem elementos químicos (Cu, Mg, Si, Zn, Ni, Ti, Cr, etc.) para que suas propriedades mecânicas respondam adequadamente às solicitações exigidas em cada aplicação. Por isso, elas são identificadas pelo elemento químico majoritário em sua composição, como mostra a classificação da Associação de Alumínio (AA) Tab. 2:

Tabela 2 - Grupos de liga de alumínio

Liga	Elemento	Aplicação
1XXX	Al puro	Indústrias química e elétrica
2XXX	Cu	Aeronaves (graças a sua elevada resistência mecânica)
3XXX	Mn	Aplicações arquitetônicas e produtos de uso geral
4XXX	Si	Varetas ou eletrodos de solda e chapas para brasagem
5XXX	Mg	Produtos expostos à atmosfera marinha como cascos de barcos
6XXX	Mg / Si	Produtos extrudados de uso arquitetônico
7XXX	Zn	Componentes estruturais de aeronaves
8XXX	Sn / Li / Fe / Cu / Mg	Reservado para aplicação futura
9XXX	Não especificado	Reservado para aplicação futura

Fonte: <http://www.infomet.eom.br/site/metais-e-ligas-oconteudo-ler.php?codAsswito=108>

MEV e EDS

O microscópio eletrônico de varredura (MEV) é um tipo de microscópio eletrônico capaz de produzir imagens de alta resolução da superfície de uma amostra. Devido à maneira com que as imagens são criadas, imagens de MEV têm uma aparência tridimensional característica e são úteis para avaliar a estrutura superficial da amostra. Além de avaliar os aspectos topográficos, essa técnica também é útil para verificar a composição e outras características do material que compõem as amostras.

A técnica possibilita investigar a superfície de amostras com magnificações da ordem de centenas de milhares de vezes. Além disso, a técnica permite a realização de microanálises por espectroscopia de energia dispersiva (EDS), que possibilita a identificação e mapeamento dos elementos químicos presentes no material. O MEV funciona através de um feixe de elétrons que varre a superfície da amostra e sua interação com o material analisado gera diversos tipos de sinal que são utilizados para a formação de imagens ou análise da composição da amostra. As imagens podem fornecer informações referentes à morfologia e topografia, e a composição química pode ser determinada por detecção de raios-X.

Suas aplicações são inúmeras, como nas áreas têxteis, de materiais de construção, metalurgia, mineração, indústrias de corantes e pigmentos, farmacêutico, cosméticos, químico e petro-

químico, criminalística, análises demateriais biológicos, plantas, fungos, bactérias, ossos e dentes e dentre muito outros.

METODOLOGIA

Materiais

A liga usada neste trabalho é formada de chapa de 1 mm de espessura. A composição química da liga é mostrada na tabela 3.

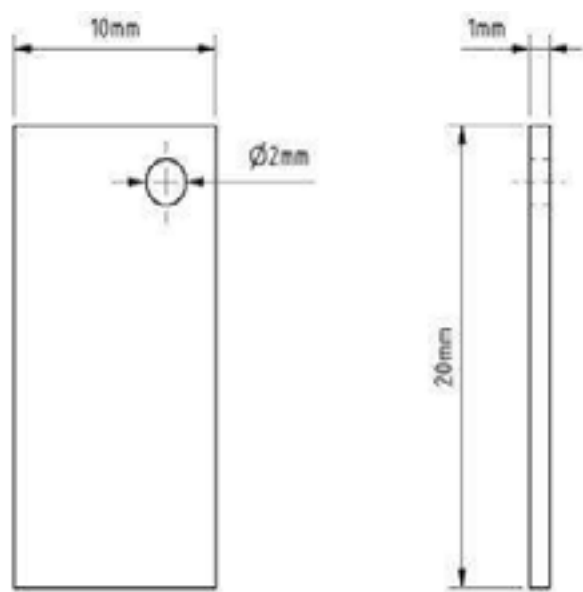
Tabela 3- Composição da liga AA 5052-H34

	Mg	Cr	Si	Fe	Cu	Mn	Zn	outros
%	2,20 – 2,80	0,15 – 0,35	0,25	0,40	0,10	0,10	0,10	0,15

Fonte: COMFE

As amostras utilizadas para a realização dos experimentos tinham dimensões de 10x20x1mm, contendo um furo para a fixação na haste de suporte no canto superior direito com diâmetro de 2 mm, como mostra a figura 3.

Figura 3: Dimensões da amostra.



Fonte: Autor (2019).

Preparação das amostras

Foram preparadas nove amostras para a realização dos experimentos, todas as amostras foram submetidas a polimento com lixas d'água com granulometria de 220, 400, 600, 1200 e 2000. Sendo que, todas as superfícies das amostras foram polidas.

A cada lixa utilizada, foi verificado a superfície da amostra através do estereoscópio óptico Zeiss para verificar suas condições.

Após o processo de polimento foi medida a massa de todas as amostras em uma balança de precisão, sendo as massas apresentadas na tabela 4.

Tabela 4: massa das amostras após o polimento

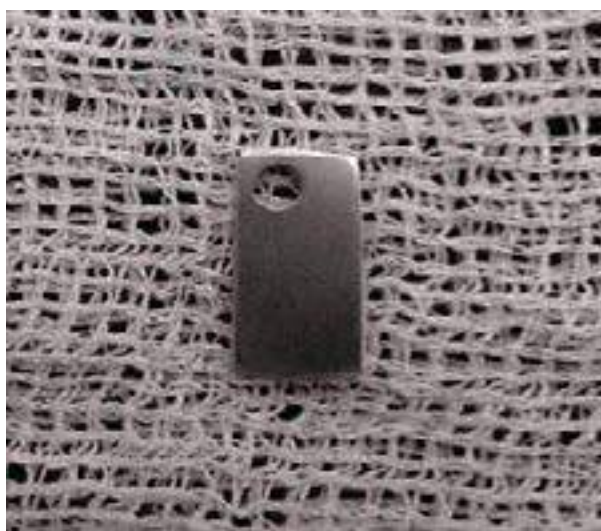
Grupo 1		Grupo 2	
Nº Amostra	Massa (g)	Nº Amostra	Massa (g)
1	0,7721	1	0,8070
2	0,7910	2	0,7080
3	0,7815	3	0,7773

Fonte: Autor

Após o polimento e medição das massas, cada amostra foi submetida a banhos em uma cuba ultrassônica, com a intenção de retirar qualquer impureza de sua superfície, sendo um banho de 1200 segundos em 80 ml de água destilada com 2ml de detergente neutro, um banho de 1200 segundos em 80 ml de água destilada e um banho de 1200 segundos em 80 ml de álcool isopropílico, sendo secas com papel toalha após cada banho.

Após todos os banhos, as amostras foram guardadas individualmente em compressas de gaze esterilizadas (figura 4).

Figura 4: Amostra pronta para o experimento



Fonte: Autor (2019)

Sistema experimental

Para a realização do experimento, foram utilizados os seguintes materiais:

- Uma fonte de tensão estabilizada CTRLTECH, com tensão variável de 0 a 1000 V CC, e corrente variável 0 a 20 A CC.
- Um agitador mecânico FISATOM para soluções até 1,5 litros e potência de 25 W.
- Dois multímetros MINIPA modelo ET2030A, para medidas de tensões e correntes.
- Um termômetro MINIPA modelo ET40 1A, para medidas da temperatura da solução.
- Um béquer de 2000 ml de vidro para a cuba eletrolítica.
- Duas hastes finas de alumínio AA1050, com 3,25 mm de diâmetro, usada para segurar as amostras e o contra eletrodo dentro da célula eletrolítica. Estas hastes foram isoladas por uma fita de teflon para não participar do processo.
- Cabos de conexão banana - banana, banana - jacaré e jacaré - jacaré para a ligação elétrica do sistema.
- 1500 ml de solução aquosa de tetraborato de sódio ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) em concentração de 10mg/L.
- Uma placa de alumínio AA 5052 com dimensões de 50x50x1 mm para ser o contra eletrodos.

Todos os elementos foram utilizados para constituir o sistema eletrolítico que foi utilizado nos processos de anodização a plasma, como mostra a figura 5.

Figura 5 - sistema eletrolítico

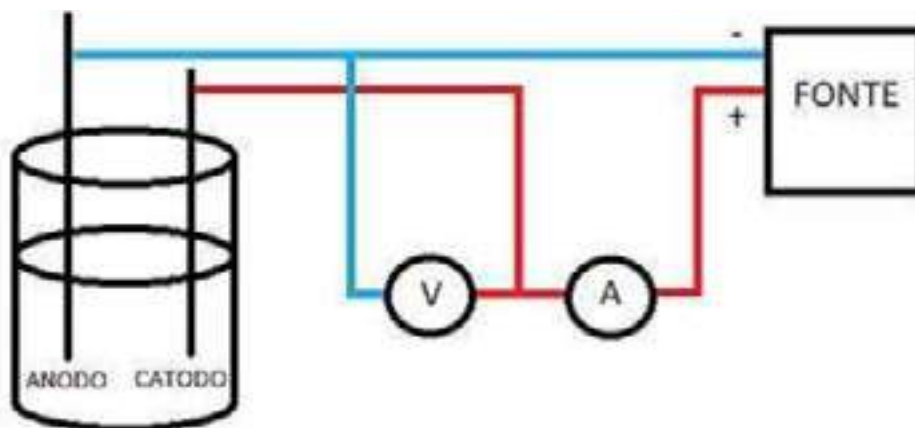


Fonte: Autor (2019).

Experimento

Para a realização do experimento, foi colocada a solução de tetraborato de sódio no béquer de 2000 ml que foi usado como cuba eletrolítica, em seguida, a amostra e o contraelétrodo foi fixada as hastes de alumínio, e colocadas dentro da cuba, mantendo uma distância de 30 mm entre a amostra e o contra elétrodo para as três amostras do experimento de 450 V e para as três amostras do experimento de 1 A, e 20 mm para mais três amostras do experimento de 450 V. O misturador e o termômetro também foram colocados dentro da cuba. E com os cabos de conexão, a fonte foi ligada aos componentes do experimento como mostra a figura 6.

Figura 6: Ligação elétrica



Fonte: Autor (2019)

O experimento foi realizado em dois grupos de amostras, variando o tempo em 300s, 600s e 900 s, em cada grupo. No grupo um e dois, a tensão e a corrente foram diminuindo com o andar do experimento até atingir a casa dos miliamperes, mantendo a tensão em 450 V, tendo como elemento de variação a distância entre o eletrodo e o contra eletrodo. No grupo três, a corrente foi mantida em 1 A e a tensão variando em torno de 500 a 520 V durante todo o tempo da experiência.

Após cada experimento, as amostras resfriavam dentro da solução para evitar qualquer tipo de defeito causada por uma mudança brusca de temperatura. Após retiradas da solução, as amostras foram secas em papel toalha, após isso, elas eram enroladas novamente em compressas de gaze esterilizadas, e enroladas com fita crepe, então armazenadas numa caixa plástica com divisórias, com as informações de tempo, número da amostra e grupo preso em cada divisória.

Foi realizado o MEV e EDS utilizando o MEV Tescan Vega 3 XMU do departamento de materiais e processos do instituto tecnológico da aeronáutica (ITA), em todas as nove amostras revestidas e em uma amostra sem revestimento para servir de base de comparação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado do experimento foi plenamente satisfatório, onde todas as amostras tratadas apresentaram formação da camada de revestimento (imagem 7). Neste trabalho, foi avaliado duas amostras, a amostra com tempo de 900 s e 1A (amostra um) e a amostra de 900 s e 450V (amostra

dois).

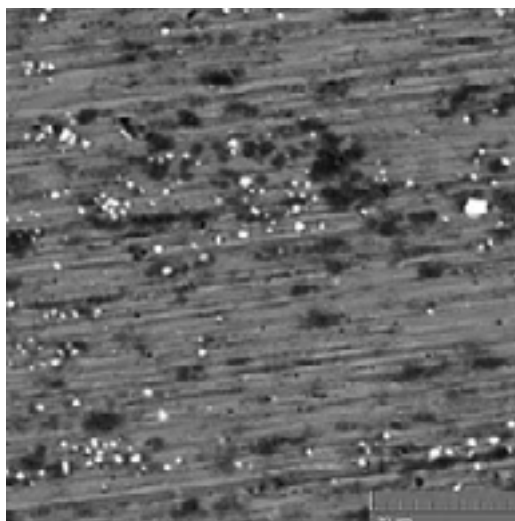
Também foi analisado uma imagem do MEV (figura 8) com zoom de 3000x, que mostra a superfície da amostra antes do revestimento, onde pode-se observar que, mesmo com uma lixa de granulometria alta (2000), ainda há riscos e imperfeições na superfície do material, além da presença de algumas partículas proveniente da própria lixa cravadas na superfície.

Figura 7 - Material revestido



Fonte: Autor (2019).

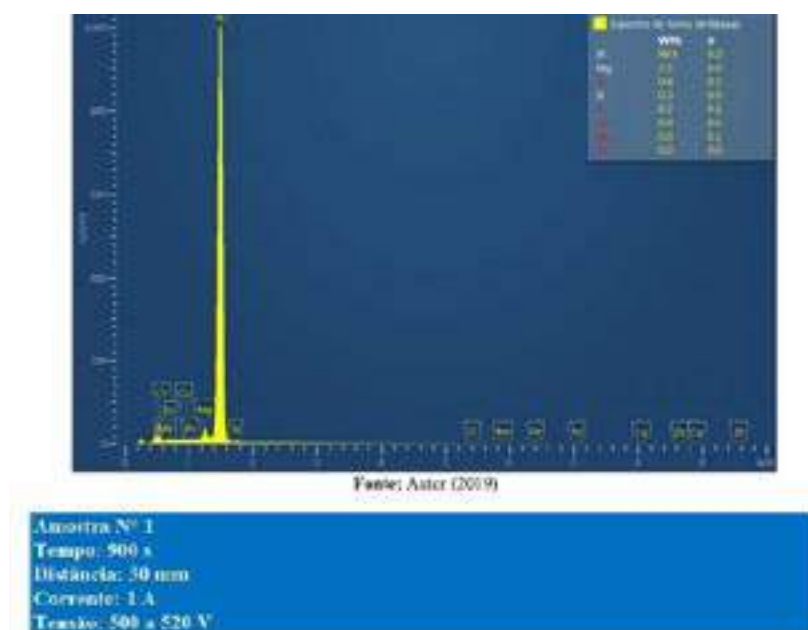
Figura 8: Superfície da amostra sem revestimento com zoom de 3000x



Fonte: Autor (2019).

No gráfico do EDS (Figura 9) da amostra sem revestimento mostra a presença predominante do alumínio (Al) e a presença de seus elementos de liga, em especial o magnésio (Mg).

Figura 9: Gráfico EDS da amostra sem revestimento

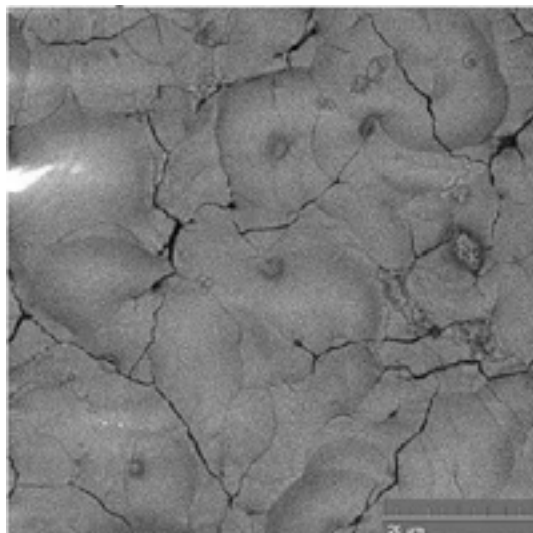


A amostra número um (figura 10) aparenta ter várias fissuras no revestimento, a olho nu o revestimento aparenta estar mais poroso que o feito em menor corrente. Há a presença de pequenos orifícios de onde trincas se iniciam, causadas pela descarga de plasma, que perfuram as camadas de oxido superiores para atingir o alumínio e formar novas camadas. A descarga de plasma acaba por proporcionar o surgimento de trincas superficiais na superfície do revestimento, mais essas trincas não resultam em nenhum problema para as camadas de oxido.

Pode ser também observar manchas em padrões circulares, uma sobrepostas as outras, que são as camadas de oxido de alumínio criada pelo plasma, que em comparação com a amostra dois, são de maior tamanho.

Em comparação com a imagem tirada após o polimento e antes do revestimento, pode se observar que quaisquer imperfeições superficiais causadas pelas no processo de polimento foram cobertas pelo revestimento.

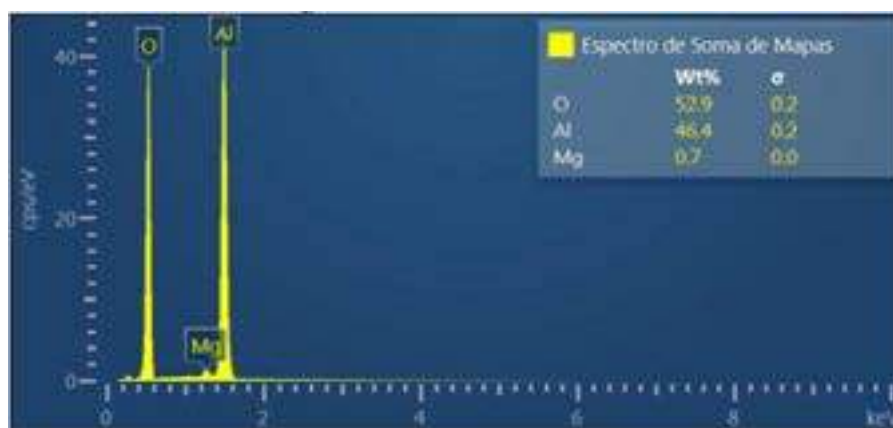
Figura 10: Amostra um com zoom 3000x



Fonte: Autor (2019)

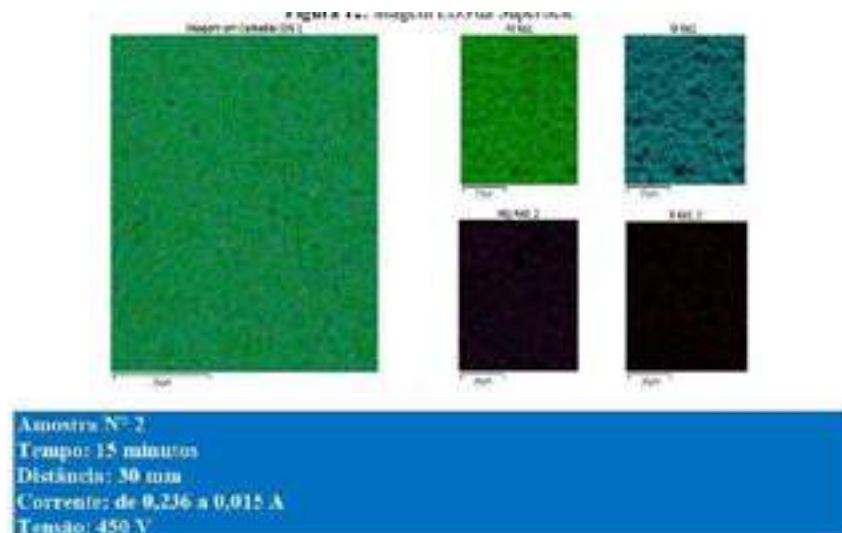
No gráfico e nas imagens do EDS (Figura 11 e 12) da amostra um, pode se observar uma maior presença de oxigênio (O) e de alumínio (Al) na superfície do material, mostram do que acumulada está toda revestida com o óxido de alumínio, condição que era pretendida com o experimento.

Figura 11: Gráfico do EDS da amostra um



Fonte: Autor (2019)

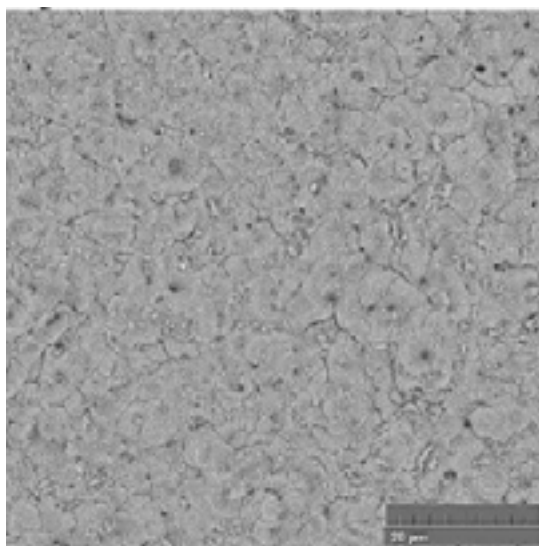
Figura 12: imagem EDS da Superfície



Fonte: Autor (2019)

Na amostra número dois (Figura 13) há a presença de pequenas rachaduras e orifícios, bem menores e em mais quantidade do que comparada com as encontradas na amostra um, feita com corrente de 1 A. a olho nu a amostra aparenta estar bem uniforme, mais com um revestimento menos intenso do que as amostras feitas com corrente de 1A. Todas as imperfeições na superfície presentes na amostra após o polimento com as lixas também foram totalmente cobertas após o revestimento.

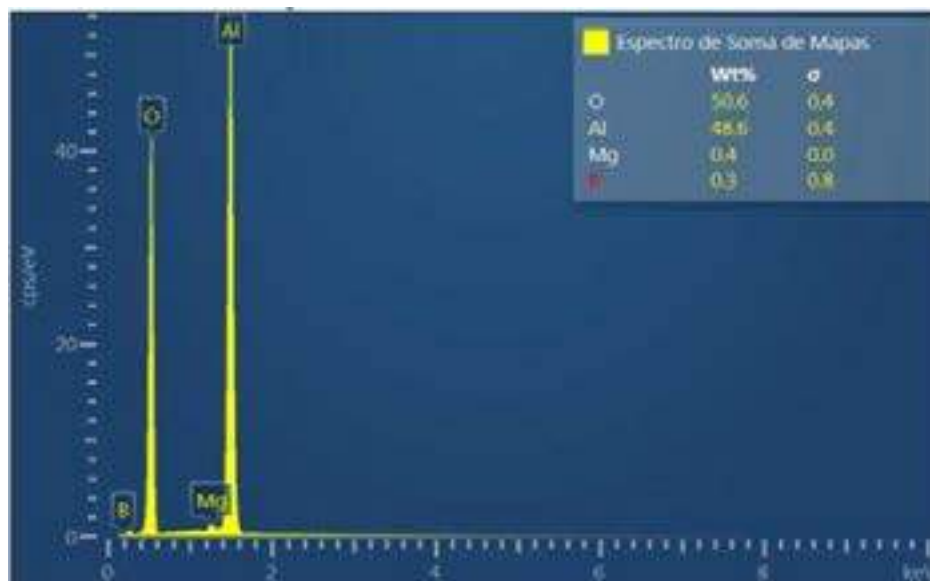
Figura 13: Amostra dois com zoom 3000x



Fonte: Autor (2019)

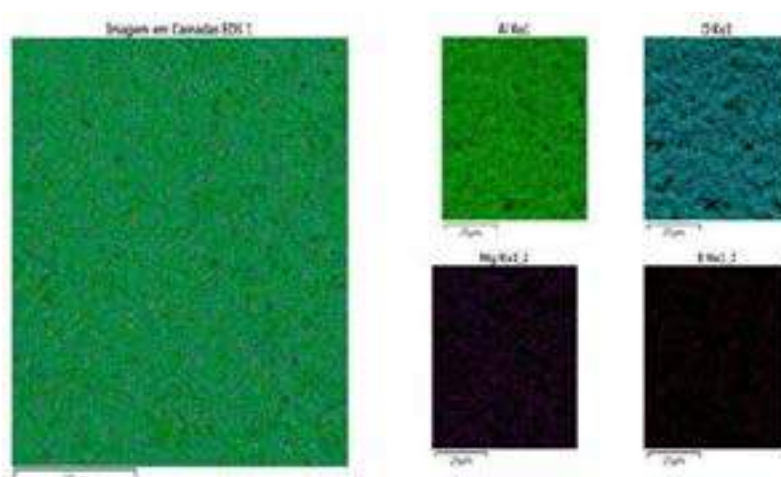
No gráfico e imagem do EDS (Figura 14 e 15) da amostra Dois, também pode se observar uma maior presença de oxigênio (O) e de alumínio (Al) na superfície do material, mostrando que a camada está toda revestida com o oxido de alumínio, mais em comparação com a amostra um, a quantidade de oxigênio é menor, pois devido ao fato de o oxido de alumínio ser um material cerâmico e sua condutividade elétrica ser baixa, a condução do plasma foi sendo menor conforme as camadas de oxido de alumínio fosse se formando, o que fez com que um número menor de camadas se formasse. Como na amostra um, a corrente foi mantida em 1 A durante todo o experimento, o plasma formou o oxido por mais tempo, deixando um número maior de camadas.

Figura 14: Gráfico do EDS da amostra dois



Fonte: Autor (2019)

Figura 15: Imagens do EDS da amostra 2



Fonte: Autor (2019)

CONCLUSÃO

O alumínio AA 5052 H34 possui uma grande disponibilidade para ser anodizado através do plasma eletrolítico, mostrando um bom desempenho durante os trabalhos desenvolvidos. Em relação aos parâmetros analisados através do MEV e do EDS, foi percebido que a utilização de uma corrente mais alta (IA) mostrou melhores resultados de revestimento em relação aos resultados obtidos com corrente mais baixa, apesar do aumento no número de trincas na camada de óxido. A corrente mais baixa por outro lado apresentou uma camada mais uniforme, que é algo positivo dependendo do tipo de aplicação.

AGRADECIMENTOS

Fapesp -Projeto:2014/19768-9.

Departamento de materiais e processos -ITA.

Doutorando: Armstrong Godoy Júnior.

Oficina Mecânica - FATEC Pindamonhangaba -Sr Laerte Luiz.

.

REFERÊNCIAS

A.L. Yerokhin et al. Plasma electrolysis for surface engineering. Surface and Coatings Technology 122 (1999) 73 -93.

A. LUGOVSKOY et ai. Production of ceramic layers on aluminum alloys by plasma electrolytic oxidation in alkaline silicate electrolytes. Applied Surface Science 264(2013)743 - 747.

ANTONIO, C. A. Deposição de flm.es por plasma eletrolítico em ligas de alumínio.Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais (POSMAT) Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2011.

DARBAND, GHAT AL. Plasma electrolytic oxidation of magnesium and its alloys: Mechanism, properties and applications.Journal of Magnesium and Alloys 5 (2017) 74--32.

GONÇALVES, R. A. Investigação da Usinabilidade das Ligas de Alumínio da Série 6XXX.2012.107 f.Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

L. ZHU et ai. A mechanism for the growth of a plasma electrolytic oxide coating on Al. Electrochemical Acta 208 (2016) 296-303.

MCAULEY, J.W. Global sustainability and key needs in future automotive design, Environ. Sci.Technol. 37 (2003) 5414--6.

MENEGHESSO, Antônio. Noções básicas sobre o processo de Anodização do Alumínio suas ligas.Artigo Técnico (2006); pg. 30 - 38.

P. GUPTA et ai. Electrolytic plasma technology: Science and engineering-An overview. Surface & Coatings Technology 201 (2007) 8746--8760.

R. O. HUSSEIN and D. O. NORTHWOOD. Production of anti-corrosion coatings on light alloys (Al, Mg, Ti) by Plasma-Electrolytic Oxidation (PEO). In: Developments in Corrosion Protection, edited by M. Aliofkhazraei, ISBN 978-953-51-1223-5, 2014.

AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO USO TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DA FIBRA DE BAMBU PRODUZIDOS NO MUNICÍPIO DE ITAJUBÁ/MG

David Pacheco Vilela
Daniele Omagbi Sant'Anna
Universidade Federal de Itajubá/MG

RESUMO

Esta pesquisa propõe estudar materiais construtivos a base dos resíduos da confecção de produtos feitos de bambu, a sua fibra, os quais foram submetidos à caracterização tecnológica e avaliada quanto à viabilidade de ser incorporada na composição da mistura dos tijolos solo-cimento, em substituição adicional. Sua finalidade é utilizar tais resíduos de forma produtiva, para ser empregado como um novo material, mais especificamente na fabricação dos tijolos solo-cimento. Realizaram-se alguns ensaios com o solo utilizado na fabricação dos tijolos com o intuito de caracterizá-lo e constatar seu uso na composição solo-cimento, além dos ensaios de resistência

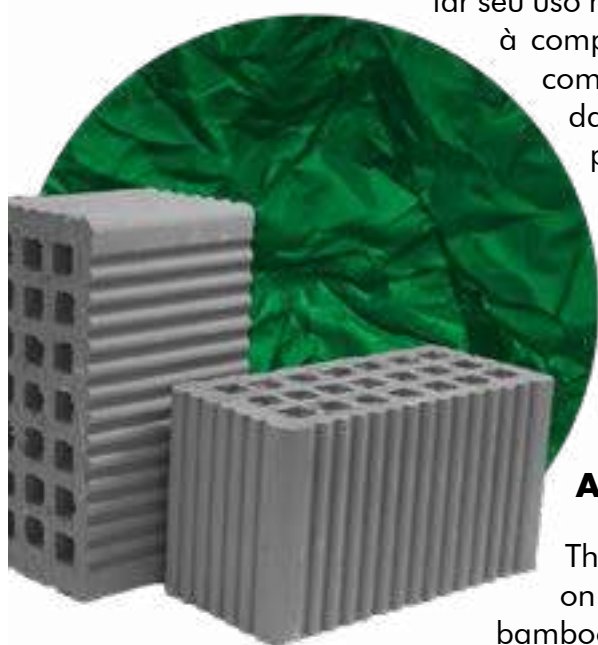
à compressão e à absorção de água, nos quais foram utilizados como corpos de prova os próprios tijolos, conforme as referidas normas recomendavam. As contribuições desta pesquisa permitem integrar a tecnologia produtiva, o baixo custo e a necessidade de soluções viáveis para minimizar os impactos ambientais na construção civil e realizar um aproveitamento otimizado dos recursos locais na implementação de futuras construções utilizando esta técnica.

Palavras-chave: Tijolo solo-cimento; Resíduos; Bambu.

ABSTRACT

This research proposes to study construction materials based on the residues of the manufacture of products made from bamboo, its fiber, which were submitted to the technological characterization and evaluated as to the feasibility of being incorporated in the composition of the soil-cement brick mix, in additional substitution. Its purpose is to use such waste productively, to be used as a new material, more specifically in the manufacture of soil cement bricks. Some tests were carried out with the soil used in the brick fabrication in order to characterize it and to verify its use in the soil-cement composition, besides the tests of resistance to compression and water absorption, in which they were used as bodies of proves the bricks themselves, as the standards recommended. The contributions of this research allow to integrate the productive technology, the low cost and the need for viable solutions to minimize the environmental impacts in the civil construction and to realize an optimized use of the local resources in the implementation of future constructions using this technique.

Keywords: Soil-cement Brick; Waste; Bamboo.



INTRODUÇÃO

A construção civil se destaca como um setor muito significativo na economia de um país, recebendo altíssimos investimentos e consequentemente gerando empregos a todo o momento. O mundo está em constante adaptação e para isso necessita que a engenharia civil trabalhe para acompanhar tantas mudanças, tais como tomar ambientes acessíveis à todos, construir residências para que todos os tipos de população possam edificar, desenvolver construções adaptadas para aguentar quaisquer tipo de fenômeno da natureza, dentre outros avanços que são de extrema necessidade para os dias atuais.

A demanda por sustentabilidade dentro das construções civis, proporcionou melhorias no desempenho ambiental das edificações e seus sistemas de avaliação (ROCHA, 2012; GORON, 2010; LARSSON, 2004).

A utilização de terra em construções é tão antiga quanto os primórdios de construções realizadas na humanidade, especialmente onde não existiam outros materiais disponíveis, como por exemplo as pedras ou madeira. Em todo o planeta, o uso deste material foi empregado e em alguns lugares com muito sucesso e sofisticação. A Muralha da China é exemplo histórico e demonstrativo das potencialidades do material, mesmo sendo utilizada com o auxílio de construção associadas com pedras, a sua maior extensão foi feita com terra batida, técnica construtiva conhecida como taipa de pilão. Não se desfizeram com a chuva, ao longo de todos estes anos e até os dias presentes, a terra é amplamente utilizada como material básico de construção em todo o território nacional.

As principais técnicas utilizadas as quais empregam terra como matéria prima básica são: Taipa de Pilão ou Taipa Socada (a massa usada é composta de terra e água, usada apenas para umedecer), os tijolos de adobe (formados por terra crua, água, palha e fibras naturais, que são moldados artesanalmente em fôrnas e secos ao sol), bloco de terra comprimida (BTC) ou mais conhecido como tijolo ecológico (é um tijolo composto por solo, água, normalmente estabilizado com um pouco de cimento ou cal e comprimido em prensas mecânicas}, dentre outras. Sendo esta última combinação considerada a mais econômica ao longo do ciclo de vida de uma edificação.

Em comparação com os outros métodos construtivos, esta mistura de materiais a base de terra chega a consumir 25% da energia necessária para produzir um tijolo de argila comum e 35% daquela necessária para produzir um bloco de concreto. Quando de demolição, o material pode ser reciclado e reutilizado como material de construção. Sua resistência a cargas é compatível e mesmo superior aos blocos e tijolos de uso comum. (NEVES, 2011)

O Brasil não é exceção à utilização da terra crua, pelo contrário, o país tem larga tradição em sua aplicação nas construções, com evidência no período colonial. Dentre os produtos mais expressivos da arquitetura brasileira de terra crua destacam-se as construções da sociedade civil, expressão utilizada para designar tanto as residências da classe com maior poder econômico, quanto dos pobres e escravos, além disso, a técnica era utilizada na conformação de "algumas instalações, como casas de farinha, moinhos hidráulicos de milho, igrejas de povoados pobres, principalmente aldeias indígenas e quilombos" (VARGAS, 1994).

O pesquisador Heise (2004) relata que as primeiras construções no Brasil com solo cimen-

to foram o aeroporto de Petrolina (PE) e a construção de residências em Petrópolis (RJ) no início da década de 1940. Nesta mesma época o pesquisador relata que o arquiteto Lucio Costa, utilizou o sistema construtivo de pau-a-pique e o painel monolítico de solo-cimento em um projeto que desenvolveu para a construção da Vila Operária de João Monlevade (MG). O bom estado de conservação em edificações que se encontram hoje atesta claramente a qualidade do material e da técnica construtiva. A partir daí o uso do solo-cimento foi consideravelmente ampliado devido às vantagens técnicas e econômicas que o material oferece.

Assim, é errônea a ideia de que a construção de terra significa uma simples volta ao passado e, mais especificamente, ao atraso. Pelo contrário, é o resgate de uma técnica, que não parou no tempo uma vez que incorporou avanços científicos.

Com base nisso, a seguinte pesquisa tem como objetivo geral avaliar qualitativa o uso tijolos de solo-cimento com incorporação de fibra de bambu produzidos no município de Itajubá/MG. Para avaliar tais questões tem-se como objetivos específicos examinar as características físico-mecânicas do solo e das fibras de bambu utilizadas na fabricação dos tijolos de solo-cimento, em seguida avaliar a resistência à compressão e a absorção de água de tijolos de solo-cimento com idades de sete e quatorze dias após sua fabricação, com e sem a adição das fibras de bambu.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Vive-se, presentemente, uma revalorização da importância de utilizar a técnica de construção com terra em nossas construções. Os engenheiros e arquitetos preocupados com o meio ambiente estão desenvolvendo aprimoramento tecnológico, aproveitando mecanizações e modernizando o método construtivo, de modo a torná-lo adequado a nossos tempos.

Nossos monumentos históricos foram construídos com terra. No entanto, a partir da década de 60, o governo brasileiro promoveu uma ampla campanha nacional associando esta tradição à doença de Chagas (provocada pelo “barbeiro”) criando assim um preconceito contra a utilização da terra na construção. O que acabou por se popularizar a associação da proliferação do “barbeiro” com as casas construídas com terra.

Adiciono ainda o que Barbosa, et al. (2002) refere-se à:

No entanto, sabe-se que o “barbeiro” vive em cavidades e a este inseto pouco importa se esta cavidade é de terra, de madeira, ou de cimento. O que ele busca são condições ideais de temperatura e luminosidade. Por isso, a doença de Chagas continua existindo onde há miséria e moradias de baixa qualidade.

Com o intuito de desmistificar tal “preconceito” com esta técnica, a pesquisa aqui apresentada se dedicará a compreensão do potencial dos diferentes tipos dos sistemas construtivos em terra crua, a fim de debater sobre a sua utilização como material de construção, por meio de um estudo de caso realizado no município de Itajubá/MG. Assim, caracterizando os sistemas construtivos mais primitivos da humanidade como tecnologia durável relacionada à construção de baixo impacto ambiental da engenharia, à conservação e restauração do patrimônio cultural histórico e à produção

Além disto, atentando-se as demandas atuais sobre a sustentabilidade, a pesquisa vem a contribuir nesse requisito, haja vista em conformidade com Boff (2017):

Sustentabilidade pode ser entendida como os procedimentos que se tomam para permitir que um bioma se mantenha vivo, protegido, alimentado de nutrientes a ponto de sempre se conservar bem e subsistir ao longo do tempo, estando sempre à altura dos riscos que possam ocorrer. E não apenas de se conservar assim como é, mas também para que possa prosperar, fortalecer-se e coevoluir com os seus indivíduos (ativos e passivos). Essas são premissas de sustentabilidade, seja do universo, seja da Terra, dos ecossistemas e, também, de comunidades e sociedades inteiras, para que continuem vivas e se conservem bem. Somente se conservarão bem as comunidades que mantiverem seu equilíbrio interno e conseguirem se auto reproduzir (BOFF, 2017).

Tijolos prensados com terra estabilizada (BTC) ou Tijolo Solo-cimento

Comparado à técnica milenar da construção dos adobes, o mesmo não pode se dizer dos tijolos prensados de terra crua. Exigindo a prensagem esforços elevados (aproximadamente de 2 MPa), só por volta dos anos 50 foi desenvolvida a primeira prensa manual conhecida pelo nome de Cinva-Ram, idealizada na Colômbia. Ela deu origem a inúmeras outras espalhadas por todo o mundo.

Processo construtivo: Depósito de solo (Gazida); Peneiramento (rejeitar: granulometria maior que 6mm, pedregulhos e raízes); Mistura (homogeneizar: solo + 5 a 10% cimento + 10 a 15% de água); Prensagem; Cura (7 dias em câmara úmida).

Figura 1: Fábrica de tijolos solo-cimento



Fonte: Autoria própria

De acordo com Pisani (2005), pode-se acrescentar que, o tijolo de solo-cimento possui matéria-prima abundante em todo o planeta por se tratar da terra crua. A autora ainda ressalta que o produto não precisa ser queimado, o que proporciona economia de energia, além de proporcionar ambientes confortáveis com pouco gasto energético, permitindo conforto térmico e acústico, pelo fato de possuir características isolantes.

Segundo o SEBRAE (2013), “as vantagens do tijolo de solo-cimento vão além das ambientais, servindo também para a economia no processo construtivo e conforto, estética. Estudos realizados em todo o Brasil, (...) tijolos ecológicos trazem para a obra de 20 até 40% de economia com relação à construção convencional”.

Conforme Oscar Neto, 2010: “hoje, em uma obra convencional, cerca de 1/3 do material vai para o lixo”. Ainda de acordo com o autor, essa técnica construtiva possui outras vantagens, dentre as quais pode-se citar:

- Redução em 30% do tempo de construção em relação à alvenaria convencional;
- Estrutura -os encaixes e colunas embutidas nos furos distribuem melhor a carga de peso sobre as paredes;
- Redução do uso de madeira para forma de vigas e pilares quase a zero;
- Economia de concreto e argamassa em cerca de 70%;
- Economia de 50% de ferro.”

Materiais a ser incorporado no tijolo solo-cimento: Fibra de bambu

Os tijolos de solo-cimento já são por si só uma forma de construção sustentável, mas com o intuito de inovar e conseguir uma reutilização dos materiais, os quais seriam descartados, pode-se realizar estudos sobre o reaproveitamento destes materiais na incorporação da construção e tomá-la mais eficiente, em termos sustentáveis.

Os resíduos podem, então, ser processados e transformados em matéria-prima, misturando-se com o solo, para favorecer os blocos de terra. Dependendo do resíduo em causa, geralmente passa por um processo de trituração para que tenha uma granulometria mais aceitável (Machado, 2014).

A utilização das fibras vegetais, tal como a fibra do bambu, como material de reforço aos elementos estruturais existentes tem se mostrado positivo em muitos aspectos, no entanto, é necessário consolidar este estudo. Com isso, buscou-se através deste trabalho avaliar a influência da adição das fibras de bambu nas propriedades mecânicas dos tijolos solo-cimento.

Figura 2: Fibras de bambu



Fonte: Autoria própria (2018)

OBJETIVOS

Como objetivo principal deste trabalho, objetivou-se estudar as características do solo utilizado na fabricação de tijolos de solo-cimento no município de Itajubá e as características dos tijolos produzidos no município <omitido para revisão cega> e com adição de resíduos de materiais, com o intuito de aprimoramento na tecnologia da confecção dos tijolos solo-cimento. Os objetivos específicos foram:

1. Examinar as características físico-mecânicas do solo e das fibras de bambu utilizadas na fabricação dos tijolos de solo-cimento;
2. Avaliar a resistência à compressão e a absorção de água de tijolos de solo-cimento com idades de sete e quatorze dias após sua fabricação, com e sem a adição das fibras de bambu.

MATERIAIS E MÉTODOS

Esse trabalho é um estudo descritivo que abrange aspectos gerais e amplos que reflete um contexto social e sustentável (Oliveira, 2013). Tem uma abordagem qualitativa cujo objetivo é de analisar através dos tijolos solo-cimento, técnicas de construções sustentáveis, diante da necessidade da preservação do meio ambiente, além do aproveitamento dos resíduos dos materiais, os quais apresentam um grande potencial para se agregar aos tijolos e torná-los mais resistentes e duráveis.

Em termos de realização desta pesquisa, a coleta de dados foi feita nas visitas aos locais sendo fontes primárias e em pesquisas na internet com fontes secundárias, buscando sempre o maior aproveitamento para um melhor resultado.

Com isso, para se conhecer melhor sobre o tema escolhido e detalhes sobre os materiais, visitou-se uma empresa do ramo, que fabrica tijolos solo-cimento. No local, descobriu-se detalhes sobre os materiais, os quais podem ou não ser utilizados, recebeu-se detalhes de testes de resistências, absorção e muitos outros, para obter base de comparação aos testes realizados. Também foram recolhidas amostras de solo e de tijolos de solo-cimento para a execução dos testes.

Os ensaios normatizados, das características do solo, foram realizados. Já os ensaios de resistência à compressão e absorção de água dos tijolos, foram realizados no laboratório, onde foram escolhidas 10 amostras dos tijolos solo-cimento, para cada período analisado, com e sem a adição da fibra, para execução dos testes.

Os resultados encontrados foram analisados e comparados com os dos modelos convencionais através das normas. Após os testes realizados, conclusões das pesquisas e análises dos resultados, pode-se averiguar as propriedades, características, resistência, absorção e viabilidade do produto proposto.

ANÁLISES PRELIMINARES DO SOLO

Com o intuito de se certificar em campo de que os solos escolhidos atendem as necessidades dos ensaios, um estudo realizado pela Universidade Metodista de Piracicaba, comprovou que deve-se usar os sentidos para recolher as primeiras informações de uma amostra de terra, como um treinamento que pode economizar tempo para decisões no canteiro de obra.

As análises preliminares são fáceis de se fazer com material básico encontrado na própria obra, entretanto para se chegar a uma maior precisão é necessário confirmar os resultados com a repetição dos ensaios.

Exame visual

Objetivo: Observar a cor e a composição da amostra (o tamanho dos grãos).

Procedimento prático: Examinar uma amostra em estado seco e observar os componentes a uma vista simples para apreciar seus aspectos arenosos e argilosos. Nesse exame a fração fina (argilas e limo) que é composta por partículas inferiores a 0,08mm, não é perceptível a olho nú. Os solos com cores negras e brancas, não servem para construção dos adobes. Já as vermelhas e castanhas são adequadas para a utilização, em especial a amarelo-claro, as quais são as ideais para tal finalidade.

Exame de odor

Objetivo: Detectar a presença de material orgânico na amostra.

Procedimento prático: Cheirar a amostra. A amostra contém elementos orgânicos se tiver um odor de humus (mofo). Este odor se amplifica se aquece-se ou umidifica a amostra. Este tipo de terra não é conveniente para a construção.

Exame de mordida

Objetivo: Identificar o grão de maior proporção na amostra.

Procedimento prático: Morder uma pitada da amostra entre os dentes. A terra é arenosa se provoca uma sensação desagradável, abrasiva entre os dentes. A terra é argilosa se sentimos uma sensação lisa e farinhosa entre os dentes. Atenção: deve-se cuidar da qualidade higiênica das amostras.

Exame tátil

Objetivo: Identificar a composição granulométrica do material (a tração fina).

Procedimento prático: Tritura-se a amostra entre os dedos e a palma da mão. A terra é arenosa se apresenta uma sensação de rugosidade e não se observa nenhuma coesão. A terra é limosa se tiver uma ligeira impressão de rugosidade e a amostra úmida apresenta uma plasticidade média. A terra é argilosa se em estado seco apresenta torrões que resistem a compressão e em estado úmido se convertem em massa plástica e colante.

Exame de água corrente

Objetivo: Identificar a proporção de finos na amostra.

Procedimento prático: Lavar as mãos após esfregá-las com terra ligeiramente úmida. A terra é arenosa se o enxágue das mãos é fácil. A terra é limosa se parecer polvilhenta e as mãos não são difíceis de enxaguar. A terra é argilosa se parecer esponjosa e é muito difícil de enxaguar as mãos.

Exame de aderência

Objetivo: Observar a quantidade de argila na amostra.

Procedimento prático: Toma-se uma bolota de terra úmida que não se adere aos dedos e se corta com uma espátula. A terra é bem argilosa se a espátula penetra facilmente e a terra se adere na espátula. A terra é medianamente argilosa se a espátula penetra sem grande dificuldade e a terra se adere quando retira a espátula. A terra é pouco argilosa se a espátula penetra e se retira com facilidade mesmo quando manchado pela terra.

Características do solo

De acordo com Barbosa (2003), é importante a análise da composição granulométrica. A plasticidade o limite de liquidez não deve ser excessivo, de preferência menor que 40-45%. No caso, para os tijolos de solo-cimento, o ideal é que o solo tenha:

- 10% a 20% de argila;
- 10% a 20% de silte;
- 40% a 70% de areia.

Caso o solo não estiver dentro dessas porcentagens, é feita uma correção granulométrica. É comum misturar areia a solos muito argiloso e com os limites de liquidez e plasticidade altos. Assim, no momento da produção dos blocos, é feito o peneiramento para a obtenção da granulometria ideal.

Dosagens da terra com estabilizantes químicos

Afim de se adquirir uma maior estabilização dos componentes construídos com terra, deve se adicionar estabilizantes químicos. Estabilizar um solo significa a ele misturar produtos que melhorem suas propriedades, inclusive sob a ação da água. Um dos melhores estabilizantes conhecidos é o cimento. Este trabalha reagindo quimicamente não só com a água, formando agentes cimentícios, mas também com as partículas finas do solo.

Cimento

O cimento é utilizado normalmente em combinação com a compactação do solo, sendo por isso perfeitamente indicado para estruturas em Taipa de Pilão e em tijolos solo-cimento.

O uso do cimento nos Blocos de Adobe melhora sua resistência aos esforços de compressão, evita o retraimento brusco evitando rachaduras e melhorando a resistência à erosão por ação das águas de chuvas.

O cimento atua como agente da união entre as partículas de areia e pedregulhos, preenchendo os espaços vazios destes materiais. É recomendável usar solos com pouco conteúdo de argila (mãx. 20%).

Tabela 1- Tabela para dosaem de Taipa de Pilão e blocos de terra comnrimidos íBTC)

CIMENTO (Unid.)	SOLO (Unid.)	ÁGUA (Unid.)	% CIMENTO (Vol.)	SOLO ARENOSO (Teor)
1	10	1	10	> 45 %
1	12	1,5	8	> 50 %
1	15	2	6	> 55 %
1	20	2	5	> 60 %

Fonte: Taveira (2014)

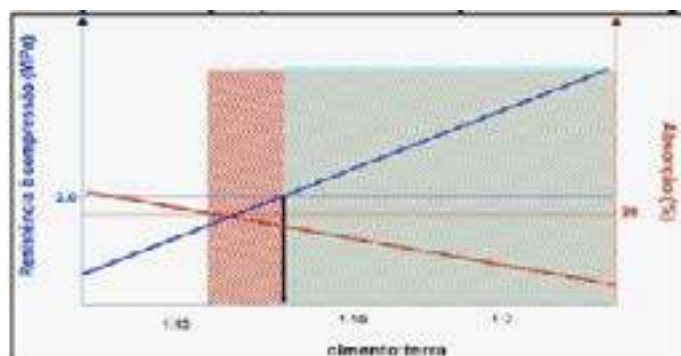
Fabricação dos tijolos de solo-cimento

O processo de fabricação dos tijolos de solo-cimento, seguiu-se a norma NBR 10833 (ABNT, 2012), e segundo Silva (2013), os passos para se realizar a confecção dos mesmos são:

1. Preparação do solo: peneiramento do solo e quebra de torrões
2. Preparo da mistura: espalha-se o cimento ao solo preparado misturando bem até a obtenção de uma coloração uniforme. Feito isso, adiciona-se água, aos poucos, sempre misturando até obtenção da umidade desejada.
3. Moldagem dos tijolos
4. Cura e armazenamento: Os tijolos são cobertos com lona plástica.

De acordo com a Neves (2011) escolheu-se um traço que se considera de boa resistência para fabricação dos tijolos, sendo este 7:1, ou seja, sete partes de terra para uma parte de cimento, conforme ilustrado a seguir.

Figura 3: Exemplo de interpolação de resultados para definir a dosagem do BTC



Fonte: Neves (2011)

A realização do traço com a adição dos resíduos - em substituição de aproximadamente 10% da massa de terra - permitiu uma comparação direta entre a composição tradicional, ou seja, sem acréscimo destes.

Durante sete dias esses tijolos foram submetidos a molhação abundante e coberto com lona para evitar a perda de umidade e favorecer a cura do cimento. Após esse período foram retirados aleatoriamente do lote fabricado 10 tijolos tradicionais e 10 com a adição das fibras, para submetê-los ao ensaio de resistência à compressão e absorção de água. E, passados o período de 14 dias foi retirado da mesma forma e a mesma quantidade para realização dos mesmos ensaios. Isso foi feito para se avaliar a diferença da resistência dos tijolos ao longo do tempo e o incremento nessa resistência.

Ensaio de resistência à compressão

A verificação de resistência à compressão foi-se baseada na norma para tijolos de solo cimento para alvenaria não estrutural - NBR 8492 (ABNT, 2012). Foram rompidos sete tijolos, conforme recomendado pela norma, para cada traço no 7º e 14º dia após sua fabricação.

Os setes corpos-de-prova foram preparados cortando-se o tijolo, ao meio, perpendicularmente à sua maior dimensão, em seguida, foi superposto, por suas faces maiores, as duas metades obtidas e as superfícies cortadas invertidas ligando-as com uma camada fina de pasta de cimento Portland, pré-contraída, onde foi deixada em repouso de aproximadamente de 30 min e aguardado aproximadamente 12 horas antes de proceder com a preparação

Após este tempo, foi coberta a superfície do tijolo com uma camada de pasta de cimento. Logo que a pasta começou a endurecer, retirou-se o corpo-de-prova da bancada e com o auxílio de jornal molhado sobre a superfície, foi-se prensado com a finalidade de dar um acabamento, aplainando na superfície e retirou-se o excesso da pasta, o que se repetiu para o outro lado, após o período de descanso de 12 horas.

Finalmente, após o descanso de secagem da pasta, os corpos de prova foram imersos em água por um período de 6 horas, a fim de se preparar a amostra para o ensaio.

Figura 4: Tijolos cortados ao meio, superposto com a pasta de cimento e capeado



Fonte: Autoria própria (2018).

Ensaio de absorção de água

O ensaio de absorção de água foi realizado para analisar o comportamento do tijolo perante exposição à umidade durante um determinado período. Baseou-se também na NBR 8492 (ABNT, 2012), a qual consiste em imergir os tijolos em um tanque com água durante um período de 1 dia.

O ensaio se propõe a realizar a secagem dos tijolos em uma estufa, a fim de se obter uma estrutura seca, para após a secagem, colocar os tijolos em um tanque de água por um período de 24 horas.

Após o processo de imersão, os blocos são secados com um pano umedecido, para se realizar a pesagem. Anotado os devidos valores de massas, é realizado o cálculo com o intuito de descobrir o quanto de água o tijolo absorveu.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análises preliminares do solo

A fim de se garantir uma boa amostra para realizar a confecção dos tijolos, realizou-se uma análise prévia do solo, as quais os resultados são apresentados a seguir:

Tabela 2 - Resultados das análises preliminares

Exame	Resultado	Observações
Visual	Marrom alaranjado	Grãos finos com pequenas porções amontoadas
Odor	Cheiro perceptível, entretanto, moderado	-
Mordida	Muita abrasividade, pouca sensação lisa e farinhosa	Solo arenoso com uma baixa porcentagem argilosa
Tátil	Sensação rugosa perceptível, pouca presença de torrões	Mais arenoso do que limoso
Água corrente	Pouco fácil de sair das mãos	Porções iniciais saíram com facilidade
Aderência	Inicialmente penetrou com dificuldade, após a inserção, entrou com facilidade	Solo pouco argiloso; solo grudado na espátula após a inserção

Fonte: Autoria Própria (2018).

Análises laboratoriais do solo

O material foi preparado para os ensaios seguindo as orientações da NBR 6457 (ABNT, 2016). Na tabela 3 são apresentados os resultados da caracterização do solo.

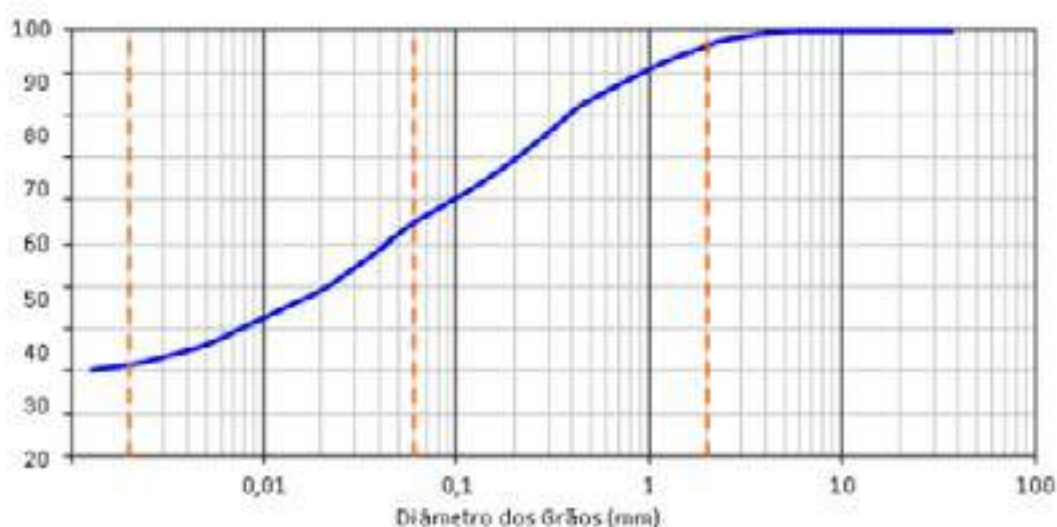
Tabela 3 - Características do solo

Ensaio	Norma	Resultado
Densidade real (g/cm^3)	ME 093 (DNER,1994)	2,55
Massa específica aparente seca (g/cm^3)	NBR 7182, 2016	1,82
Umidade ótima (%)	NBR 7182, 2016	13
Limite de Liquidez (%)	NBR 6459, 2016	27
Limite de Plasticidade (%)	NBR 7180, 2016	17
Índice de plasticidade (%)	NBR 7180, 2016	10

Fonte: Autoria Própria

A granulometria foi realizada conforme a NBR 7181 (ABNT, 2016). A curva granulométrica é apresentada na figura 5.

Figura 5 - Curva granulométrica



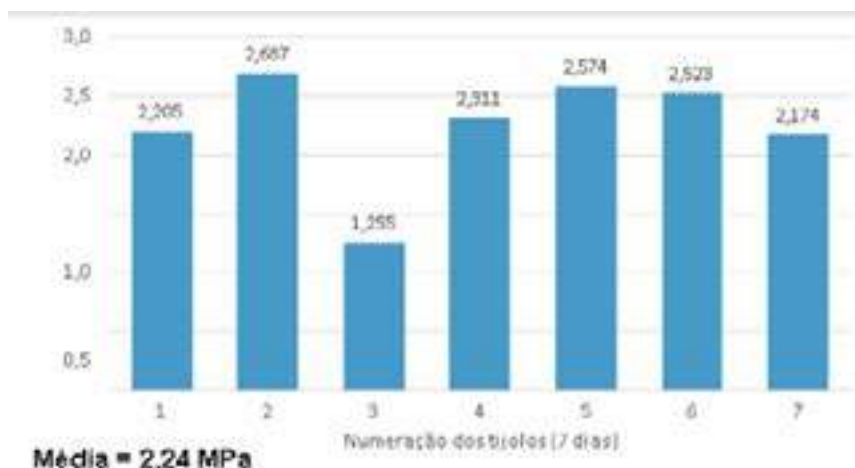
Fonte: Autoria Própria (2018).

A curva granulométrica apresenta a composição do solo nas seguintes proporções: 42% de areia, 22% de argila e 33% de silte. O solo apresenta uma aproximação razoável das proporções recomendadas e se caracteriza como solo adequado para confecção de tijolos de adobe. Martinez (1979) define a composição ideal para tijolos solo-cimento um material com 20% de argila e 40% a 55% de areia.

Ensaio de resistência a compressão

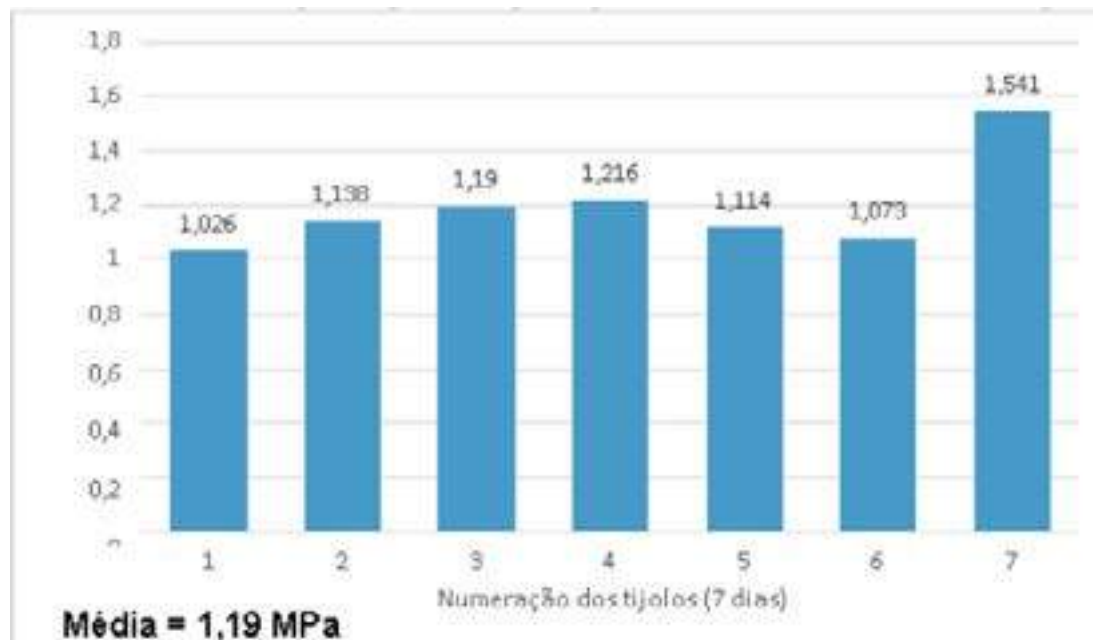
Conforme descrito no item 4.5 deste trabalho, os tijolos tradicionais, ou seja, sem a adição dos resíduos e os com a adição, foram ensaiados conforme as normas e os resultados obtidos estão nas figuras 6 a 9, seguindo a ordem de numeração dos tijolos ensaiados.

Figura 6 - Resistência à compressão para os corpos de prova sem a adição dos resíduos após 7 dias.



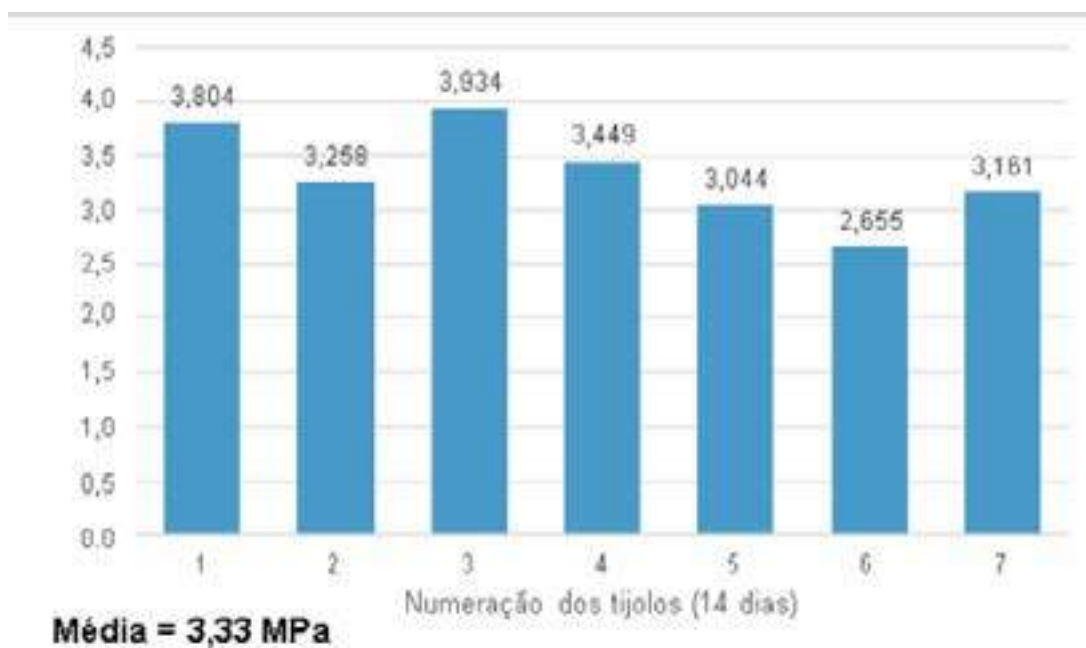
Fonte: Autoria própria (2018)

Figura 7 - Resistência à compressão para os corpos de prova com a adição da fibra de bambu após 7 dias



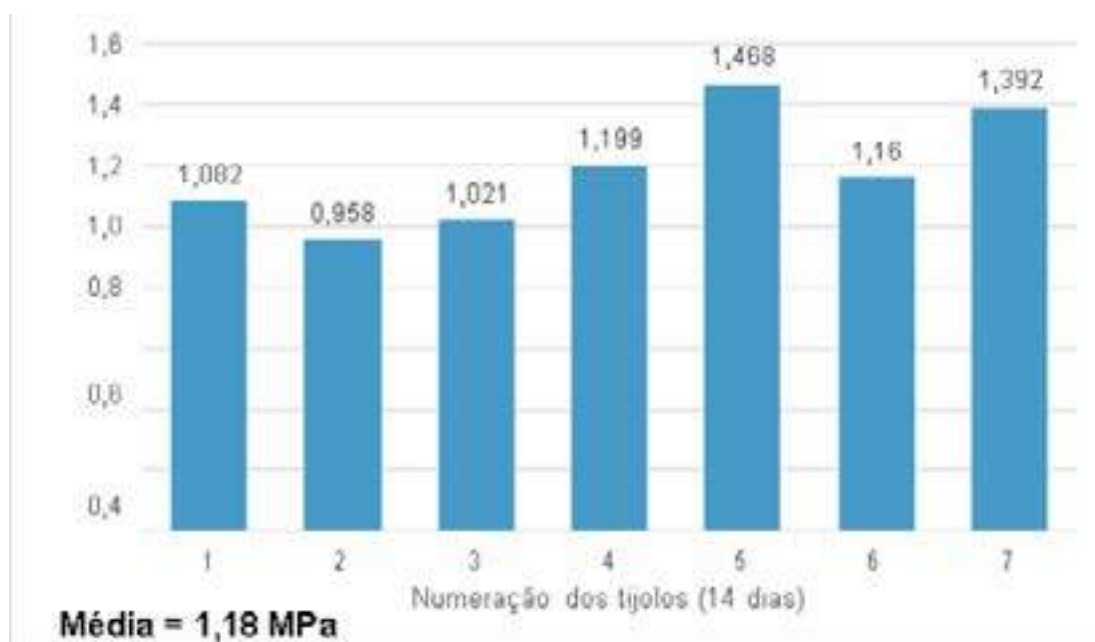
Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 8 - Resistência à compressão para os corpos de prova sem a adição dos resíduos após 14 dias



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 9 - Resistência à compressão para os corpos de prova com a adição da fibra de bambu após 14 dias



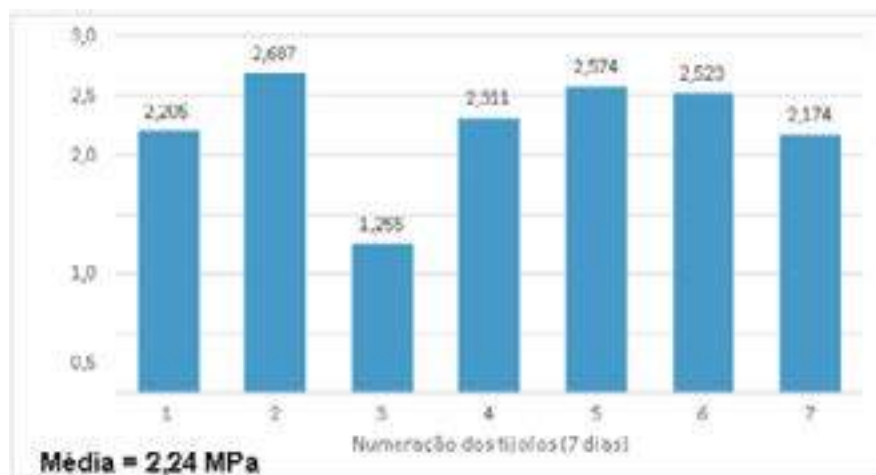
Fonte: Autoria própria (2018).

Por meio de uma análise simplificada, pôde-se constatar que, a adição da fibra de bambu nos tijolos, acabou por prejudicar a sua qualidade no tocante a resistência à compressão, atingindo valores médios, de 1,18 MPa, menores que os indicados pela norma (2,0 MPa).

Ensaio de absorção de água

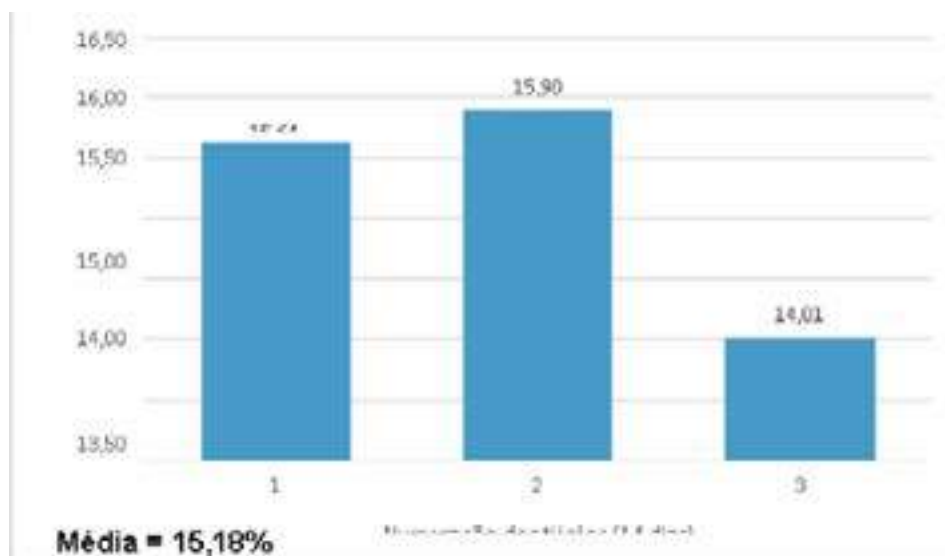
A determinação da absorção de água dos corpos de prova cilíndricos foi realizada seguindo os procedimentos normatizados descritos. Na realização deste ensaio foram utilizados 3 tijolos de cada traço, com idade de 7 e 14 dias, e os resultados obtidos estão representados a seguir nas figuras 10 a 13.

Figura 10 - Valores de Absorção de Água dos tijolos sem adição dos resíduos após 7 dias



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 12 - Valores de Absorção de Água dos tijolos sem adição dos resíduos após 14 dias



Fonte: Autoria própria (2018).

Assim como as resistências à compressão, os tijolos apresentaram uma piora conforme adicionado as fibras de bambu, ou seja, superando o valor máximo recomendado pela norma de absorção (20%).

CONCLUSÃO

A utilização de tijolos de solo-cimento é uma alternativa para construções sustentáveis de baixo custo, em que se pode utilizar como matéria-prima o próprio solo local, evitando gastos, tais como o de transporte. Além disso, por não exigir mão-de-obra especializada, pode ser produzido em regime de ajuda mútua, o que evita custos de mão-de-obra.

O estudo pôde demonstrar que o solo utilizado na fabricação dos tijolos solo-cimento, é considerado um dos melhores para esta finalidade, visto que contém aproximadamente 42% de areia, 22% de argila e 33% de silte, permitindo sua utilização direta para a confecção dos tijolos, sem a necessidade de acrescentar aditivos para melhoria da qualidade da mistura.

Os resultados obtidos através dos ensaios normatizados, mostraram que é possível fabricar tijolos com resistências consideráveis, como a do traço 1:7 (aproximadamente uma média de 3,33 MPa, após os 14 dias), que corresponde a um valor superior ao mínimo exigido para tijolos solo-cimento utilizados para alvenaria não estrutural (2,0 MPa), em conformidade com a NBR 8491 (ABNT, 2012). Além disso, vale ressaltar que todos os tijolos demonstraram uma boa absorção de água (máximo de 15,90%), comparados com valor máximo de 20% descritos também na norma.

Por fim, pode-se constatar que a adição da fibra de bambu nos tijolos solo-cimento acabou prejudicando tanto na resistência a compressão simples, quanto na absorção de água, o que poderá ser considerado posteriormente como base de futuros estudos, para se entender o porquê, já que o bambu apresenta características tão boas no ramo da construção civil.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2016).NBR 6457: Amostras de Solo -Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização.Rio de Janeiro, RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2016). NBR 6459-Solo Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2016).NBR 7180-Solo Determinação do limite de plasticidade.Rio de Janeiro, RJ. 295

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2016). NBR 7181 - Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2016). NBR- 7182: Solo -Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro, RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2012). NBR 8491 -Tijolo maciço de solo-cimento. Rio de Janeiro, RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2012). NBR 8492 -Tijolo maciço de solo-cimento - Determinação da resistência à compressão e absorção d'água. Rio de Janeiro, RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2012). NBR 10833 -Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento. Rio de Janeiro, RJ.

BARBOSA, NORMANDO PERAZZO; MATTONE, ROBERTO; MESBAH, A. Blocos de concreto de terra: uma opção interessante para a sustentabilidade da construção. 440 Congresso Brasileiro Do Concreto. Belo Horizonte-Minas Gerais.Anais...João Pessoa: 2002

BARBOSA, Normando Perazzo. Transferência e aperfeiçoamento da tecnologia construtiva com tijolos prensados de terra crua em comunidades carentes. In: FORMOSO, Carlos Torres;INO, Akemi (Comp.). Inovação, Gestão da Qualidade & Produtividade e Disseminação do Conhecimento na Construção Habitacional. Porto Alegre: Isbn, 2003. p. 12-39. (Coletânea Habitar - vol 2).

BERALDO, A.L. PEREIRA, M.A. dos R. Bambu de corpo e alma. Canal 6. Bauru, SP, 233 p. 2008.

BOFF, L. Sustentabilidade: o que é - o que não é. Petrópolis, RJ: Vozes, 2017.

LEGEN, Johan van. Manual do arquiteto descalço. Porto Alegre: Livraria do Arquiteto, 2004. 697, [13]p

CSILLAG, D..Análise das práticas de sustentabilidade em projetos de construção latino americanos.São Paulo, 2007, p.117.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGENS - DNER-:ME 093/94: Solos -Determinação da Densidade real -Método de Ensaio. DNER, 1994.

HEISE. A. F. Desenho do processo e qualidade na construção do painel monolítico de solocimento em taipa de pilão.138 p.Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2004

MACHADO, G. (2014). Portal Resíduos Sólidos - Reciclagem de Resíduos Sólidos da Construção Civil. Disponível em: <http://www.portalresiduosolidos.com/reciclagem-de-residuos-solidos-da-construcaocivil/> 296

MARTINEZ, E. A. (Coord.). Manual para la construccion das vivien-das con adobe. 1979. Mostafa, M. & Uddin, N. (2016). Experimental analysis of Compressed Earth Block (CEB) with banana fibers resisting flexural and compression forces. Case Studies in Construction Materials, 5, 53 - 63 . Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509516300420>

NEVES, Célia; FARIA, Obede Borges (Org.). Técnicas de construção com terra. Bauru, SP: FEB-UNESP/PROTERRA, 2011. 79p. Disponível em <<http://www.redproterra.org>>. Acessado em 13/03/2018.

OLIVEIRA, M. M. Como Fazer Projetos.[s.L] Elsevier Brasil, 2013.

PISANI, M. A. J. Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solo cimento.aedificandi, p. 17, 2005.

SEBRAE. Como montar uma fábrica de tijolos ecológicos.[s.l: s.n.].

SELIH, J. Envionmental management systems and constrution SME: a case study for Slovenia. Civil Engineering and Management, v.13, n.3, September 2007, p.217-226p.

SILVA, Cláudia Gonçalves Thaumaturgo da. Conceitos e Preconceitos relativos às Construções em Terra Crua. Rio de Janeiro, 2000. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz.

TAVEIRA, Eduardo SalmarNogueira e (Org.). Produção de tijolos de solo-cimento. Piracicaba: Núcleo de Estudos e Programas em Educação Popular, 2014. 68 p.

VARGAS, Milton (org.). História da Técnica e da Tecnologia no Brasil. São Paulo, Editora da Universidade Estadual Paulista, Centro de Educação Tecnológica Paula Souza, 1994.

.

.

RESTAURO E ACESSIBILIDADE ÀS INFORMAÇÕES HISTÓRICAS DE UM BEM PATRIMONIAL. ESTUDO DE CASO DO VITRAL DA CATEDRAL NOSSA SENHORA DA PIEDADE, LORENA, SP

Tatyana Barros
Pâmela Sabrina Barbosa Bento
Paulo Sergio de Sena

RESUMO

O presente artigo aborda o estudo de caso do restauro de um dos vinte e seis vitrais da Catedral Nossa Senhora da Piedade no município de Lorena, interior do estado de São Paulo. A revisão das referências permitiu um avanço na historicidade da construção da citada Catedral, um bem patrimonial do município. Além do movimento de restauro, foi agregada a metodologia do design com o objetivo de propor uma integração entre a divulgação de informações significativas aos usuários do templo e a acessibilidade e inclusão de pessoas portadoras de deficiências visuais, fator essencial para propagar a cultura, de forma ampla, completa e homogênea. Para tanto, foram utilizadas ferramentas para resolução dos problemas de comunicação enfrentados pela gestão da Catedral, a fim de melhorar a propagação dos saberes locais de forma prática e objetiva, como por exemplo, a inclusão de QR Code e impressões em 3D.

Palavras-chave: restauro de vitrais; acessibilidade; qr code.

ABSTRACT

The present article deals with the study case of the restoration of one of the twenty - six stained glass windows of the Nossa Senhora da Piedade Cathedral in the Lorena County, in the State of São Paulo. The bibliographic review allowed an advance in the discovery of historical facts of the construction of this patrimonial property of the County. In addition, design methodologies can be used to propose an integration between the disclosure of relevant information to Temple users and the accessibility and inclusion of people with visual impairments that is an essential factor for propagating our culture in a comprehensive, complete and homogeneous way. For this purpose, innovation was used to solve the problems faced in order to improve the propagation of knowledge in a practical and objective way, for example, the inclusion of QR Code and 3D prints.

Keywords: restoration of stained glass; accessibility; QR code.



INTRODUÇÃO

Este artigo se refere ao restauro de um dos vitrais da Catedral Nossa Senhora da Piedade (conhecida como Igreja Matriz) de Lorena, interior do Estado de São Paulo. O caso de estudo se deu a partir do vitral com a imagem de São José. O incentivo para esta pesquisa surgiu com a parceria da coordenação dos trabalhos de restauro desse vitral por meio do Conselho de Conservação e Construção (CCC) da Paróquia Nossa Senhora da Piedade (PNSP) e o Mestrado em Design, Tecnologia e Inovação UNIFATEA, no intuito de atualizar os elementos arquitetônicos e sacros da Catedral.

Considerando que a Igreja Matriz é um edifício construído no final do século XIX e por suas características arquitetônicas, não há dúvidas sobre a importância da preservação deste templo, um símbolo emblemático da história local e regional. Porém, há de se lembrar que o custo de obras de restauro é comummente elevado comparado a uma obra comum. Por isso, o CCC vem fazendo um trabalho interdisciplinar entre os membros do conselho no intuito de priorizar os serviços mais urgentes e administrar com maturidade os recursos disponíveis.

Neste primeiro momento, as obras de restauro estão focadas no telhado e forro, gerando um grande investimento, postergando outros elementos que necessitam de cuidados semelhantes de restauro. Por esse motivo, daí, decidiu-se prover o restauro de apenas 1 (um) dos 26 (vinte e seis) vitrais da Igreja Matriz como ensaio para os outros vinte e cinco.

Atualmente existe uma urgência na iniciativa em preservar e restaurar esses vitrais, pois representam parte da memória local e regional, por estarem apresentando variados problemas, dentre eles, peças faltantes, que foram substituídas por vidros simples, alterando assim, a originalidade do vitral.

Inicialmente o principal entrave ocorreu durante a pesquisa histórica de Lorena e a construção da Igreja Matriz. Poucas referências foram encontradas além das informações relatadas por moradores simpatizantes e amantes do município, muitas vezes romantizadas e pouco confiáveis. Desse modo, aderiu-se a investigação histórica baseada em registros oficiais, incluindo visitas à Cura Diocesana, Instituto de Estudos Valeparaibanos - IEV, Casa da Cultura, Biblioteca Municipal e Arquivo Municipal na tentativa de esclarecer de forma concludente, todos os fatores referentes à construção da Igreja Matriz e de seus vitrais. Não obstante, é de grande apreço citar os relatos dos autores Angela Maria Barreto, Antonio Gama Rodrigues, José Geraldo Evangelista e Teodoro Sampaio, que retrataram de forma sistemática parte dessa história.

Alinhando esses fatos a importância da participação popular na propagação da cultura local e regional, uma inquietação surgiu no sentido de ir além ao processo da restauração e apresentar ao usuário final, ou seja, a população lorenaense, uma oportunidade de acesso a tais informações históricas atualizando os ambientes com recursos para realidade aumentada (RA). Esta inovação consiste basicamente na interação entre o usuário e o objeto, também de forma virtual, em tempo real, normalmente utilizando-se de um dispositivo móvel como celular ou tablet. Este processo favorece a propagação da informação, bem como, a disseminação e compartilhamento da história.

A ideia central desta pesquisa objetiva a implantação da realidade aumentada com a inserção de QR Code, que consiste numa imagem rastreável por meio de dispositivos móveis de

comunicação equipados com câmeras, com a finalidade de converter a imagem apresentada em textos, hiperlinks, localização georreferenciada, e outras tantas possibilidades.

Com a criação do QR code, considerando o objeto em estudo, o usuário poderá virtualmente obter todas as informações a respeito da história de cada figura representada no vitral, incluindo a biografia do Santo/Santa, oração vinculada a ele/a, ficha técnica, além de curiosidades; dentre outras possibilidades que se tomarem relevantes. Essa ação certamente facilitará a compreensão e vínculo com este patrimônio. Além disso, há possibilidade de criar o acesso à mesma informação de forma audível, facilitando o acesso aos deficientes visuais.

Porém, a pesquisa não se satisfaz apenas com essa contribuição. Outra grande preocupação foi em relação à acessibilidade. Acrescentou-se à pesquisa mais um aspecto: uma arte que transforma os sentidos, não pode ter limites. Mas, como fazer para que todos tenham acesso? Sendo o vitral uma arte essencialmente visual, como proceder para que as pessoas com pouca, ou nenhuma visão, possam ter acesso à arte e a informação? Para solucionar esse problema pretende-se utilizar a impressão em 3D. A partir de uma fotografia do vitral, pode-se criar uma modelagem em 3 (três) dimensões do vitral para que os deficientes visuais tenham acesso a uma experiência mais profunda desse contato com o sagrado.

REFERENCIAL TEÓRICO

A forma de expressar e registrar fatos, acontecimentos, processos de forma linguística referencia-se desde a representação em hieróglifos. Especificamente a arte da manufatura dos vitrais remete desde o século XII, e eram repassadas oralmente entre os artesãos, principalmente entre membros das famílias. Segundo Raquena (2000, p. 20), os vitrais tinham como objetivo narrar aos fiéis iletrados fatos e elementos dos textos sagrados, através de imagens. E ainda, o autor lembra palavras do Papa Gregório a respeito dessa arte, elegendo os vitrais como melhor forma evangelizadora, possibilitando as pessoas ignorantes uma leitura dos fatos e personagens importantes da religião católica, ainda que não conseguissem ler de fato. Portanto, o vitral se tomou um meio de comunicação através da arte, principalmente religioso. Além disso, os vitrais exercem um grande fascínio por que propiciam um espaço de encontro com o sagrado, criando uma atmosfera de sensibilidade, oração, reflexão, interiorização e contemplação.

No Brasil o primeiro artesão da arte do vitral foi Conrado Sorgenicht, um alemão católico que segundo Mello (2010, p. 2) rumou ao Brasil para se distanciar da guerra francoprussiana e por problemas de saúde. Chegando aos trópicos, por volta de 1889, deparou-se com a vasta luminosidade dessas terras e aproveitou-se do efeito que a luminosidade poderia causar na utilização de vitrais e criou um ateliê para manufatura de vitrais na cidade de São Paulo, chamado Casa Conrado.

Em muitas pesquisas históricas realizadas, revelou-se que os vitrais da Catedral Nossa Senhora da Piedade, Igreja Matriz de Lorena, foram produzidos por este mesmo ateliê. Diferentemente do saber popular, que muitas vezes atribui a eles (vitrais) origem estrangeira.

É fato que muitos itens da Igreja Matriz, tanto da sua construção quanto da ornamentação, têm origem européia. As telhas, por exemplo, vieram de Marselha, o travejamento de aço da Bélgica, o piso de Paris, este especialmente criado com desenhos remetidos de Lorena, o órgão de

tubos foi fabricado pelo mais famoso organista da época, Aristide Cavaillé-Coll, construtor de órgão francês. Mas os vitrais, não. De acordo com a pesquisa histórica dos documentos do Arquivo Municipal, apurou-se que a Igreja Matriz havia sido inaugurada sem a instalação das peças, apenas com o gradil, em 01 de janeiro de 1890. Esse fato se tomou intrigante, contribuindo para a grande questão: quem produziu os vitrais da Igreja Matriz de Lorena?

Com base nas pesquisas em artigos científicos na internet, foi com grande entusiasmo que se constatou que os vitrais eram criações da Casa Conrado. Na dissertação de Mello (1996, p. 127), onde a autora faz um resgate histórico do famoso ateliê, pode-se encontrar a resposta para a importante questão anterior:

[...] Aparecida do Norte - Basílica de Nossa Senhora; Caçapava - Igreja Matriz; Caraguatatuba - Igreja Matriz; Campos do Jordão - igreja; Guaratinguetá - Igreja Matriz / Igreja de São Paulo Apóstolo; Lorena - Catedral; Pindamonhangaba - Igreja Matriz de Nossa Senhora do Bom Sucesso; São José do Barreiro - Igreja Matriz; São José dos Campos - Igreja Matriz de Sant'Ana e Capela do antigo Sanatório Vicentino Arantes; São Sebastião - Igreja (MELLO, 1996, p.127).

Ainda aproveitando as informações desse referencial bibliográfico, notou-se uma grande quantidade de vitrais da Casa Conrado em obras de Ramos de Azevedo. A própria Igreja Matriz (como a conhecemos hoje), foi projetada por ele, célebre arquiteto paulista, tendo em seu currículo nada menos do que o Teatro Municipal de São Paulo, Pinacoteca do Estado, Escola Politécnica, dentre outras. Inclusive, os vitrais do Teatro Municipal também são da Casa Conrado. Essa parceria pode ser verificada a seguir:

Conrado Sorgenicht II estabeleceu relações profissionais com diversos arquitetos, engenheiros e companhias construtoras que pudessem lhe oferecer serviço e lhe possibilitassem ampliar a clientela [...]. Entre eles está o engenheiro-arquiteto Ramos de Azevedo, que estudou em Gand na Bélgica, formando-se em 1878. [...] E a Casa Conrado foi favorecida por esta situação, além disso, ao que parece, Ramos de Azevedo, apreciava especialmente o vitral. No arquivo de seu escritório é possível encontrar diversos desenhos e aquarelas onde aparecem vitrais, encaixados em janelas projetadas ou ampliadas isoladamente. Surgiu então uma parceria entre Conrado Sorgenicht II e Ramos de Azevedo, que encomendou muitos vitrais para obras realizadas por seu escritório (MELLO, 1996, p. 36 e 39).

Portanto, ao contrário do que o conhecimento popular dizia, os vitrais da Igreja Matriz são nacionais, produzidos em São Paulo pela Casa Conrado, o maior ateliê de vitrais do Brasil. Toda essa investigação contribui ao município com informações relevantes para seu resgate histórico.

Não se pode falar dos vitrais da Catedral Nossa Senhora da Piedade, a Igreja Matriz de Lorena, sem falar da construção do bem arquitetônico, bem como da origem da cidade de Lorena. Como o próprio nome diz -Matriz, refere-se à igreja mãe de uma cidade.

Portanto a história parte do desbravamento dos bandeirantes durante o século XVII, na

ânsia da descoberta do ouro em Minas Gerais estimulando as expedições a se fixarem nas margens do rio Paraíba. Nessa época, muitos índios foram aprisionados e designados ao trabalho servil. No final desse século, como informa Barreto (1998, p. 76) a região estava constituída por 3 (três) vilas, Taubaté, Jacareí e Guaratinguetá; 2 (dois) povoados, Pindamonhangaba e Tremembé; e 2 (duas) aldeias indígenas, Nossa Senhora da Escada (Guararema) e São José dos Campos.

Lorena, até então pertencente à Vila de Guaratinguetá, era chamada de região do Porto de Guaypacaré2.

A expansão desse povoamento se deu principalmente pela característica geográfica, tomando-se o centro de convergência entre importantes regiões: São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. Naquele momento, por volta de 1695, uma família de mais ou menos 100 (cem) pessoas habitava o local onde hoje é Lorena. O responsável por essa ocupação foi o chefe dessa família, Bento Rodrigues Caldeira, como descreve Barreto (1998, p. 78). A partir desse fato, em 1705, Bento Rodrigues Caldeira se une a alguns moradores dessa região, dentre eles citados em fontes - João de Almeida Pereira e Pedro da Costa Colação - com intuito de construir uma capela, sob invocação de Nossa Senhora da Piedade, revelando a tradição católica advinda de nossos colonizadores conforme o Livro do Tombo, sendo:

No anno de mil sete sentos e sinco pouco mais ou menos os moradores deste porto de Hepacarê, Bento Roiz Caldeira, João de Almeida Pereira, Pedro da Costa Colação, e outros, fizeram neste mesmo anno uma Capella de N. Senhora da Piedade, filial a Igreja Matriz de Santo Antonio da Villa de Goratinguetâ, de onde erão freguezes os ditos moradores (CÚRIA DIOCESANA, Nº 1, p. 2 e3)

Dois anos depois, em 1707, Bento Rodrigues Caldeira recebe a concessão de sesmaria das terras de Guaypacaré. Seguindo adiante, devido à grande movimentação advinda dos bandeiristas, os quais tinham a Capela de N. S. Piedade como parada obrigatória antes da travessia do Rio Paraíba rumo às Minas Gerais, a população da região cresceu necessitando mais autonomia. Por esse motivo, em 1718 o então bispo do Rio de Janeiro, eleva a região a Freguesia e sua capela, em Igreja Matriz:

E no anno de mil e sete sentas e dezoito, por provizão do Exmo. eRmo. Sr. Dom Francisco de S. Gerônimo, Bispo do Rio de Janeiro, a cujo Bispado pertencia esta freguezia naquela tempo se desmembrou dita Capella da Matriz de Sto. Antº da Villa de Guaratinguetâ e se curou por Igrª Matriz sem anexação alguma, e logo os moradores desta freguezia fizeram Igreja nova demullirão dita Capella, ficando o lugar della junto à Cruz (CÚRIA DIOCESANA Nº1,p.3)

Portanto nota-se que a partir do momento em que a população tem maior independência, resolvem demolir aquela rústica e simples construção, para então, erguer uma nova igreja. A segunda constução da Igreja Matriz era de taipa, com forro apenas sobre a capela mor e tribuna. Possuía 3 (três) alqueires de área construída, com sacristia, púlpito, coro, dois sinos, pia batismal de madeira fechada com chave e um armário onde se guardava os santos óleos e três âmbulas de estanho CÚRIA DIOCESANA (Nº 1, p.4).

Figura 1-Igreja Matriz Nossa Senhora da Piedade em 1817-1818.



Fonte: WAGNER (2000).

O desenvolvimento desta pesquisa apresentou a partir daí um forte desenvolvimento urbano da região, bem como um crescimento populacional. A diversificação das atividades econômicas e a agricultura, no caso milho, arroz, feijão, mandioca e também a cana de açúcar, são fatores que contribuíram para esse acontecimento.

Sendo assim, segundo Barreto (1998, p. 82), em 1788 os moradores da Freguesia de Nossa Senhora da Piedade solicitam junto ao governador de São Paulo, o capitão Bernardo José de Lorena, a emancipação política de Guaratinguetá, sendo lavrado o Auto de Ereção da Vila de Lorena no dia 14 de novembro daquele ano.

Com novo nome em homenagem ao governador, a Vila de Lorena estabelece-se como região independente politicamente e por isso houve a necessidade de constituir-se a Câmara e Cadeia, além de eleições dos governantes regionais. O Capitão Manoel Domingues Salgueiro⁵ é eleito Juiz Ordinário iniciando uma história política e administrativa da cidade a qual segue através de seus descendentes.

Na virada do século, por volta de 1801, o fluxo de pessoas na cidade era intenso, porém a população residente era pequena e se concentrava ao redor da Igreja Matriz. Depois de cerca de mais de um século de uso, a este templo (figura 1) apresentava-se muito deteriorada principalmente pela ação do tempo neste edifício de taipa de pilão, uso intenso, e em parte por vandalismos.

Por isso, em 1856, quando Lorena ganha o título de cidade como afirma Barreto (1998, p. 101), a população decide demolir mais uma vez o templo e iniciar a terceira construção:

Angariados os primeiros recursos através de esmolas, concorrendo as senhoras de piedade e recursos com as telhas necessárias à cobertura, tratou-se de levantar as velhas paredes à altura julgada conveniente pelos incumbidos dos serviços, independente de qualquer planta ou projeto, foi colocado o telhado, e rapidamente acabado

o templo, internamente, com o absolutamente indispensável apenas (RODRIGUES, 1947,p. 67).

O responsável pelas obras da construção da terceira Igreja Matriz foi o Capitão Manoel Pereira de Castro (neste período em idade avançada), filho do já citado Capitão-Mor Manoel Domingues Salgueiro, o qual veio a falecer antes da obra concluída. E não a veria de qualquer forma, pois de fato nunca foi finalizada. A população e os vereadores já estavam frustrados:

[...] e não faltavam críticas para o descaso da Província. A mais contundente delas foi a do viajante Zaluar, que tantos elogios deixou a Lorena. O seu diário fala de um 'templo grandioso', ainda por terminar e que 'acusa talvez a negligência do governo, que não auxilia, eficazmente, uma obra, que já custou tantos contos de réis ao povo (BARRETO, 1998,p.131).

Enquanto a terceira Igreja Matriz não ficava pronta, os ofícios divinos foram transferidos para a Igreja do Rosário dos Homens Pretos, pequena igreja construída em 1803, distante cerca de 100 metros da Igreja Mariz. Esta situação perdurou por cerca de três décadas.

Neste período Lorena estava num período político, econômico e cultural intenso. Ferrovias, pontes, estradas iniciaram grande expansão. A cidade recebeu iluminação a gás de hulha para receber o imperador Dom Pedro II, sua filha a Princesa Isabel e Conde D'Eu, mostrando como era estreita a relação política da cidade com a corte. Aliás, a relação da coroa com a família do supracitado Capitão-Mor Manoel Domingues Salgueiro era ampla. Sua filha, Dona Carlota Leopoldina de Castro Lima, em 1879, foi honrada pelo imperador com o título de Viscondessa de Castro Lima, figura importante para o tema desta pesquisa, conforme cita Rodrigues (1956, p. 82).

Diante então da terceira Igreja Matriz inacabada, a população se une para erguer um novo templo. As doações surgiram por vários meios: doações dos fiéis, do governo e principalmente da Família Moreira Lima. Os principais doadores foram a Viscondessa de Castro Lima, seus filhos o Conde Moreira Lima e Baronesa de Santa Eulália. Sendo então em 1880 autorizada a demolição do templo inacabado para mais uma vez construí-lo.

O custo para erguer a nova Igreja Matriz na época refere-se a 172 milhões de réis. Uma fortuna para os dias de hoje. Na somatória das doações dessa família verificou-se que o valor chegou a atingir 130 milhões de réis.⁶

Contratou-se então o arquiteto Dr. Francisco de Paula Ramos de Azevedo que projetou a quarta versão da Igreja Matriz de Lorena, dando a ela "[...] puro estilo romano, todo ele incombustível, solidamente construído, em condições de atravessar séculos, e não demandar senão poucos trabalhos de conservação"(RODRIGUES, 1956, p.84).

O responsável pelas obras era nada menos do que o Conde Moreira Lima, político e pessoa muito influente na cidade, que foram iniciadas em 1886. Este ícone lorenense, por muitos anos foi o responsável, juntamente com sua mãe a Viscondessa de Castro Lima, por várias construções

na cidade, dentre elas a Santa Casa de Lorena inaugurada em 1867. Para compor a história deste edifício foi coletado um fragmento de sua construção, um tijolo cerâmico do período colonial, sendo mais exato do final do século XIX. A análise dimensional pode verificar as medidas que são bem significativas e habituais da época, com altura de 120 mm, largura de 60 mm e comprimento de 260mm.

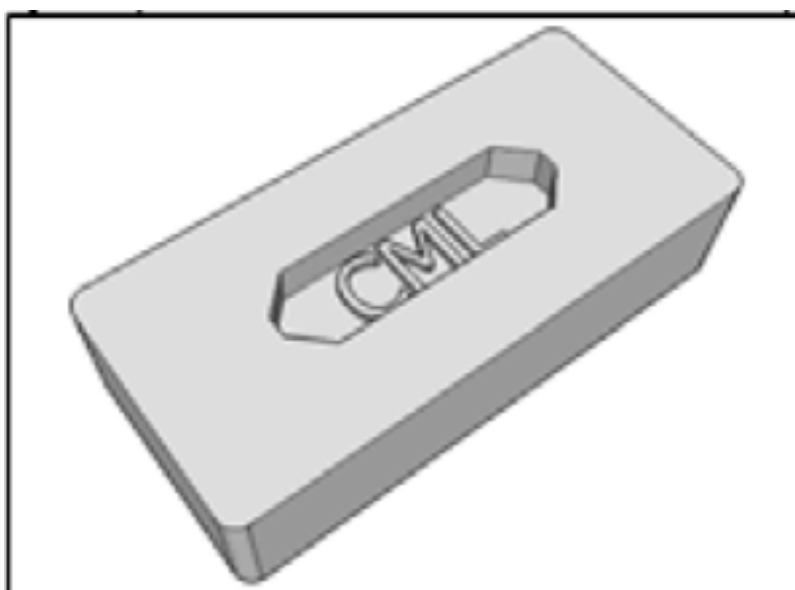
Figura 2: Amostra de tijolo colonial



Fonte: Os autores (2019).

Analisando a amostra são observadas em seu centro as iniciais do nome do provedor Conde de Moreira Lima (CML), que eram feitas com uma espécie de carimbo na época. Se utilizou da tecnologia 3D para facilitar o estudo do material e como ferramenta de preservação do achado arqueológico. Acredita-se que este mesmo tijolo tenha sido utilizado na construção da Igreja Matriz.

Figura 3: Tijolo colonial criado em 3D utilizando o software *Sketchup*



Fonte: Os autores (2019).

A inauguração da quarta Igreja Matriz aconteceu em 01 de janeiro de 1890. A nova igreja era maior que a sua antecessora, com cerca de 1500 m² construídos. Porém ao final da construção, por algum motivo ainda não identificado, a edificação permaneceu sem a instalação dos vitrais.

Figura 4: Igreja Matriz Nossa Senhora da piedadde em 1905



Fonte: Biblioteca Municipal de Lorena (Arquivo Municipal) ([s.d.])

Durante uma viagem de reconhecimento da Serra da Mantiqueira em 1893, o engenheiro Teodoro Sampaio descreve a localização de Lorena:

Lorena, apesar dos seus dois séculos de existência, é ainda uma cidade pequena. Assentada à margem direita do Paraíba que lhe cavou em frente dois largos braços pouco profundos e a 526 metros de altitude, a cidade, não obstante as suas ruas estreitas e um tanto irregulares, não é destituída de interesse, tem excelente Igreja que vale por uma catedral, obra do nosso melhor arquiteto, o paulista Ramos de Azevedo, a Igreja de S. Benedito, pequeno templo de gosto muito moderno, o edifício do Engenho Central, a casa de Câmara e alguns prédios particulares de largas proporções (SAMPAIO, 1978, p. 12).

Toda essa pesquisa foi importante como forma de imersão na história da criação da cidade, bem como de seu principal edifício, a Igreja Matriz, e consequentemente seus belos vitrais. A partir dessas informações, agregou à intenção de restaurar essa arte um grande esforço da comunidade em executá-la. Ela faz parte da Paróquia Nossa Senhora da Piedade (PNSP), tendo como pároco o Padre Rodrigo Fernandes Alves. Diante da necessidade de manutenção dos edifícios pertencentes à PNSP, criou-se o Conselho de Conservação e Construção (CCC) da PNSP, que tem como principal objetivo zelar pelo seu patrimônio. O CCC é composto de oito voluntários: Padre Rodrigo Fernandes Alves, Arq. José Ricardo Flores Faria, Arq. Natasha Ferreira Penque Scapini, Arq. Tatyana Bellini de Barros, Adv. Cristiano Quintana Bittencourt, Tania de Almeida Denis Nogueira Barbosa (finanças), Adriano Faustino Marques (comerciante) e Mareio José Leão Bueno (comerciante).

Abordando especificamente a Igreja Matriz⁷, há tempos que observamos a urgência em restaurar este ilustre edifício. Muitas são as marcas que esses quase 130 anos de vida trouxeram, portanto, um levantamento visual de danos foi realizado pelos arquitetos voluntários do CCC, com a intenção de priorizar os esforços de restauro nos elementos mais necessitados. Vale ressaltar que boa parte dos recursos financeiros que o CCC utiliza para as obras de restauro e reformas vem da contribuição dos fiéis, nada mudando na forma de captação desde 300 (trezentos) anos atrás. Por isso o CCC realiza seu trabalho de forma justa e interdisciplinar todas as decisões, obtendo então expressivos resultados.

Desde o ano de 2018 obras de restauração da Igreja Matriz já estão em andamento. O forro das duas naves laterais já foi restaurado e descupinizado. Atualmente a empresa Claudia Rangel Conservação e Restauração de Bens Culturais Ltda está realizando uma intervenção de restauro no estuque do forro sobre o coro, muito deteriorado com desprendimentos e rupturas de uma parte do friso ogival localizado sobre o coro da igreja, conforme a figura 5.

Figura 5: Reforma do estuque sobre o coro da Igreja Matriz



Fonte: dos autores (2019)

Além disso, houve uma necessidade de iniciarmos uma prospecção dos vitrais da Igreja Matriz, muito danificados pela ação do tempo, vandalismo, dentre outras causas. A partir desse ponto, iniciou-se contato com empresas especialistas em restauro de vitrais para levantamento de custos para o restauro dessa arte. Em reunião do CCC, após análise e negociação dos orçamentos recebidos, decidiu-se restaurar apenas 1(um) dos 26 (vinte e seis) vitrais.

Escolhemos então o vitral que, visualmente e estruturalmente apresentava maior dano e por conseguinte, o eleito foi o da imagem de São José como mostra a figura 6.

Figura 6: Vitral São José da Igreja Matriz



Fonte: dos autores (2019)

Como pode-se notar, duas peças do vitral foram trocadas por vidros simples, muito provavelmente por terem sido quebrados. Além disso, o basculante (vidro destacado em amarelo na figura 6) perdeu a alavanca que promovia o seu fechamento, dano identificado em quase todos os vitrais e certamente, a causa da quebra de boa parte dos vitrais dos basculantes. Os perfis de chumbo utilizado na junção das peças de vidro encontram-se muito desgastadas causando abaulamento. Outro fato comum em todos os vitrais é a falta de cuidado com a pintura das esquadrias de ferro (estrutura do vitral), manchando os vidros com tinta, ocorrida certamente por manutenção em anos anteriores.

Foi então que a empresa contratada pelo CCC para restaurar o vitral São José veio até Lorena e fez, com muita prudência, a retirada do vitral. Essa fase é muito importante pois como as peças estão deterioradas, é necessário um trabalho de cautela e perícia para que nenhuma peça se quebre. Primeiro a equipe retira a massa que sustenta o vitral na estrutura.

Depois, cada peça é catalogada e numerada e delicadamente acomodada em caixas de transporte e levada até o ateliê onde será desmontada. A partir desse momento a empresa identifica e reintegra as peças faltantes e realiza a limpeza daquelas que estão em bom estado. A partir daí,

inicia a fase de remontagem conforme levantamento inicial, adicionando novo perfil de chumbo. Esta etapa ainda está em execução, portanto não finalizada.

Paralelamente à esta fase, houve a necessidade de realizar a manutenção da esquadria de ferro, fixada a estrutura do edifício, para que receba o vitral restaurado.

Contratou-se então, um serralheiro para reparar alguns pontos da estrutura como por exemplo a alavanca de fechamento do basculante e também o desbaste de alguns rebites que haviam sobressaído da estrutura. Este último dano foi necessário para não comprometer instalação as peças restauradas e manter a melhor vedação da estrutura. Na sequência, um pintor realizou a retirada da tinta antiga e pintou novamente, trazendo à estrutura um novo acabamento.

Atualmente estamos aguardando ansiosamente pela vinda do vitral São José para que possamos entregar essa 'preciosidade' devolta a comunidade.

Figura 7: Processo de retirada do vitral São José para restauração



Fonte: dos autores (2019)

METODOLOGIA

Durante o desenvolvimento do pré-projeto identificou-se a necessidade de uma imersão na história do município de Lorena a fim de desmistificar algumas informações presentes na memória popular. Pergutando informalmente às pessoas que frequentam a Igreja Matriz, observou-se que a história contada nem sempre é aquela que realmente aconteceu.

Por isso, partindo dessa premissa abordou-se o método de pesquisa exploratória através de uma pesquisa bibliográfica com o estudo de caso do restauro do vitral São José.

Para tanto, necessitou-se uma investigação histórica realizada a partir de visitas na Biblioteca Municipal de Lorena (Arquivo Municipal), Mitra Diocesana de Lorena e Biblioteca da Unifatea - Centro Univesitário Teresa D'Ávila. Além disso, visitas à base de dados da Escola de Engenharia de

Lorena - EEL USP com a intenção de pesquisar artigos referentes à restauro de vitrais, onde convergiu a informação sobre a autoria dos vitrais.

Avançando ainda mais na coleta de dados, a participação de pessoas-chave foi imprescindível para a realização dessa pesquisa, contando então com a ajuda da Arq. Pâmela Sabrina Barbosa Bento, integrante do Instituto de Estudos Valeparaibanos - IEV; Rosângela Malerba, bibliotecária responsável pela Biblioteca Municipal de Lorena e dos membros do CCC.

Tem sido de grande importância realizar o restauro de apenas um vitral, pois pode-se acompanhar o processo mais de perto e analisar todas as situações e problemas que surgem numa proporção menor, para que nas próximas etapas de restauro dos outros 25 (vinte e cinco) vitrais esses percalços sejam minimizados.

Esse processo faz parte do aprendizado da metodologia do design que busca solucionar problemas em processos. No caso do objeto em estudo notou-se que esse tipo de serviço (restauro do vitral) envolve muitos contratemplos. O primeiro precebido foi a insatisfação dos fiéis referente ao grande barulho, resultado da retirada do vitral. Na época em que esse serviço foi realizado, era um momento de quaresma, portanto houve um aumento na movimentação dos fiéis dentro da Igreja Matriz com intuito de manter contato com o sagrado através de suas orações. Como consequência, muitos fiéis se manifestaram negativamente, pois o inevitável barulho feito pela empresa de restauro atrapalhava esse momento de oração.

Como o processo ainda se seguiria com os serviços de serralheria e pintura, o CCC decidiu interromper por alguns dias esse trabalho para que não incomodasse os usuários. A decisão foi bem-vinda, pois na semana após a Páscoa a Igreja Matriz esteve fechada e as missas foram transferidas momentaneamente para a Igreja do Rosário. Essa decisão permitiu que o serviço de pintura e serralheria, o qual gera um ruído ainda maior, fosse executado de forma cautelosa e tranquila, sem incomodar os usuários.

Após essa etapa um novo obstáculo surgiu em relação à segurança deste templo. Houve a necessidade de vedar o vão do vitral São José, pois além de possíveis vandalismos, as interpéries também se tomaram um problema. Com a finalidade de evitar mais gastos com essa fase, conseguiu-se reutilizar sobras de divisórias disponíveis na paróquia para o fechamento completo do vão, sem custo algum conforme figura 8. Essa vedação será retirada no momento em que o vitral restaurado retomar, no início do mês de junho.

Figura 8: Vedação do vão do vitral São José



Fonte: dos autores (2019)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao adentrar no curso de Mestrado de Design, Tecnologia e Inovação pela Unifatea, despertou-se a necessidade de alinhar os conhecimentos obtidos neste primeiro semestre, com o projeto em andamento do restauro do vitral. Muitas dúvidas surgiram e muitas possibilidades identificadas durante a pesquisa, em como realizar tal abordagem.

Sentiu-se então, a necessidade de propagar a toda a comunidade as informações históricas desse bem patrimonial de forma ampla e acessível a todos. Porém, esse processo deveria abranger opções inovadoras as quais foram pesquisadas para obter a melhor solução sem agredir o patrimônio histórico.

O QR Code foi a tecnologia que melhor se adaptou a necessidades desse projeto. Atualmente muitos lugares já se utilizam dessa tecnologia para propagar informações relevantes, como por exemplo, no Metrô do Rio de Janeiro e no Museu Imperial, na mesma cidade. Esta tecnologia refere-se a uma Realidade Aumentada (RA), que nada mais é que a possibilidade de interação virtual num espaço físico disponível. Ou seja, o indivíduo compreendido dentro de um edifício, através da RA pode ter acesso virtualmente a diversos tipos de informações sobre este mesmo edifício. Segundo Araújo (2017, p. 10) “a realidade aumentada [...] e permite o enriquecimento do ambiente real com a sobreposição de informações textuais, de imagens, de objetos e de ambientes virtuais. A sobreposição do virtual ao real sem o uso de equipamentos específicos por meio de aplicações multimídias sem a necessidade de treinamento a torna mais abrangente e acessível”.

Esse processo é possível quando utilizamos o QR Code, um código bidimensional que pode

ser escaneado por um celular ou tablet que possua câmera, produzindo então o acesso a textos, imagens, localização georreferenciada, dentre muitas outras possibilidades.

Pensando nesta pesquisa, decidiu-se desenvolver um QR Code para o vitral São José como protótipo. Neste código definiu-se que serão disponibilizadas várias informações, como por exemplo: a biografia de São José, bem como a oração a ele vinculada e a ficha técnica do vitral, incluindo dimensões, informações históricas e fotografias.

Desta forma o usuário, no caso a população como um todo, pode interagir com os fatos históricos propagando a mensagem de forma correta.

Pensou-se, então na característica principal da arte dos vitrais. Segundo Raquena (2000, p. 20) “[...] a epistemologia propôs que o conhecimento depende das impressões sensoriais, especificamente dos visuais, e isso os autores dos metatextos vitrais souberam tão bem aproveitar” 8. Partindo deste princípio, notamos que as pessoas com deficiência visual certamente ficariam de fora desse contexto. Para sanar tal problema, identificou-se a possibilidade de criar um modelo tridimensional via impressora 3D da imagem do vitral São José capaz de minimizar a exclusão dessa parte da população. Assim, as pessoas com baixa ou nenhuma visão poderão através da sensibilidade do toque, realizar a leitura da imagem. Concomitantemente, se utilizarem também do QR Code na intenção de obter as mesmas informações disponíveis via áudio.

Mais uma demanda surgiu em uma das reuniões do CCC, quando informou-se a respeito deste projeto. Durante a discussão chegou-se à conclusão que cerca de 30% das pessoas que frequentam a Igreja Matriz são pessoas que provavelmente não possuem, ou não têm habilidade com aparelhos celulares, objeto essencial para o acesso a essas informações. Por exemplo, pessoas com idade avançada e pessoas com escassos recursos financeiros. Para este entrave, há a possibilidade de manter uma cópia física impressa de todas as informações sugeridas, inclusive em linguagem braile, e disponibilizá-las na secretaria paroquial, ao lado da Igreja Matriz, tomando assim, acessível a todos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ampliação dos conhecimentos na área de Design foi essencial no desenvolvimento deste artigo, base da dissertação deste mestrado. A aplicação da interdisciplinaridade tanto no desenvolvimento do referencial teórico quanto na tomada de decisões e projeto, foi de extrema importância para definir a linha de pesquisa. O artigo desenvolveu-se de forma linear, abrangendo conhecimento de várias áreas para compreensão do objeto.

Tendo como foco principal o usuário final, podemos assim contribuir com a propagação da história de um povo e também com a preservação dos bens patrimoniais. Fato descrito por Choay (2017, p. 139 apud Ruskin), “[...] a arquitetura é o único meio de que dispomos para nossa identidade, e que é parte do nosso ser”.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Ana Paula R. Panorama da utilização das tecnologias digitais de informação e comunicação - TICS para a documentação do Patrimônio Material Imóvel no Brasil. In: 5º Seminário Ibero-Americano de Arquitetura e Documentação. Belo Horizonte: 2017.

BARRETO, Angela Maria. Lorena: aspectos históricos da Câmara Municipal. 1.ed. Lorena, SP: Editora Stiliano, 1998.

CHOAY, Françoise. A Alegoria do Patrimônio. São Paulo: Ed. UNESP - 6ª edição. Belo Horizonte: 2017.

CÚRIA DIOCESANA DE LORENA. Livro do Tombo nº 1

WAGNER, Robert; BANDEIRA, Júlio. Viagem ao Brasil nas Aquarelas de Thomas Ender 1817- 1818. Petrópolis: Kapa Editorial, 2000.

MELLO, R. L. S. A criação do vitral brasileiro no ateliê Casa Conrado. In: 19º Encontro da Associação Nacional de Pesquisadora em Artes Plásticas. 20 a 25 de outubro de 2010, Bahia - Brasil.

MELLO, R. L. S. Casa Conrado: Cem Anos do Vitral Brasileiro. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP. 1996.

MOURA, Larissa R. Realidade Virtual na Salvaguarda das Transformações Urbanas: um resgate imersivo de edificações demolidas. In: 4º Colóquio Ibero-Americano Paisagem Cultural, Patrimônio e Projeto. Belo Horizonte, de 26 a 28 de setembro de 2016.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Emani Cesar de. Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. - 2. ed. - Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RAQUENA C., Hélio. O que dizem os vitrais? Sua comunicação nos espaços sagrados da Saint Chapelle e da Catedral de Notre-Dame de Chartres. Bauru: EDUSC, 2000.

RODRIGUES, Antonio da Gama. Gens Lorenensis. Do sertão de Guaypacaré à formosa Cidade de Lorena. São Paulo: HL2 Gráfica e Editore, 1954.

SAMPAIO, Teodoro. Viagem à Serra da Mantiqueira, Campos do Jordão e São Francisco dos Campos. Editora Brasiliense, 1978.

PSEUDOCAULE DA BANANEIRA: POSSIBILIDADES PARA O DESIGN

Prof. Dr. Danilo Corrêa Silva
Prof. Dr. João Eduardo Chagas Sobral
Universidade da Região de Joinville - UNIVILLE

RESUMO

O Brasil é um país com clima favorável à bananicultura. A produção da banana apresenta dois produtos principais: a fruta, que é comercializada e consumida; e o pseudocaule, que é cortado e deixado em campo para se decompor. O pseudocaule constitui o suporte da planta, sendo composto por camadas que podem ser separadas e secadas para diversos usos posteriores. Atualmente, embora existam diversas iniciativas voltadas ao uso da fibra de bananeira, prevalece a sua aplicação no artesanato. O objetivo desse artigo é discutir as iniciativas voltadas ao reaproveitamento dessa fibra no design de produtos. Foram levantadas referências e iniciativas em diversos meios, permitindo construir um panorama das possibilidades e da viabilidade das aplicações selecionadas. Os resultados apontam que há muitas possibilidades de uso das fibras, tanto como material de reforço em matrizes poliméricas quanto no revestimento de móveis.

Palavras-chave: Fibra da bananeira; Pseudocaule; Materiais.

ABSTRACT

Brazil is a country with a proper climate for growing bananas. Banana production has two main products: the fruit, which is marketed and consumed; and the pseudostem, which is cut and left in the field to decompose. The pseudostem constitutes the support of the plant, being composed of layers that can be separated and dried for various later uses. Currently, although there are several initiatives aimed at the use of banana fiber, its application in handicrafts prevails. The objective of this article is to discuss the initiatives aimed at the reuse of this fiber in product design. References and initiatives have been raised in various media, allowing for an overview of the possibilities and viability of the selected applications. The results indicate that there are many possibilities for the use of fibers, both as a reinforcing material in polymer composite matrices and in the coating of furniture.

Keywords: Banana; Pseudostem; Materials.



INTRODUÇÃO

Recentemente a busca por fontes renováveis de energia e materiais tem se intensificado. A queima de combustíveis fósseis é extremamente nociva, bem como a destruição da cobertura vegetal em prol da agricultura, pecuária ou mesmo a extração de recursos, como a madeira. Muitas iniciativas surgiram para tentar reverter esse quadro, mas poucas ainda se apresentam como fontes viáveis tecnológica ou economicamente.

O desenvolvimento de materiais é essencial para que esse cenário mude, tanto no que se refere à redução do consumo de fontes não renováveis quanto do uso de madeiras não certificadas. Nesse sentido, a utilização de fibras de origem natural pode ser vantajosa, uma vez que são encontradas na natureza em sua forma natural ou obtidas após um beneficiamento (MARINELLI et al., 2008).

Tais fibras são classificadas segundo a sua origem: animal, vegetal ou mineral. Os vegetais, também designados por materiais lignocelulósicos, se destacam pela grande diversidade, em especial em países de clima tropical, como o Brasil. Aqui também se destacam as oriundas da produção agroindustrial, que muitas vezes são subprodutos ou rejeitos. Isso vale para a bananicultura, cuja produção brasileira tem destaque internacional.

A produção de banana é uma importante atividade econômica para diversas regiões do Brasil. Foram colhidas 15500 ton. de banana em uma área plantada de 620 ha (IBGE, 2017). É também o segundo fruto mais produzido e consumido no Brasil, sendo comum na alimentação dos brasileiros, fornecendo fibras, potássio, vitaminas A e C (FREITAS; TAVARES; CACELLI, 2010). Embora a banana seja uma fruta comum na dieta dos brasileiros, pouco se discute o destino da planta de onde a fruta se originou.

Comumente, o pseudocaule da planta (que visualmente corresponde ao seu tronco) e as folhas são deixados no campo para se decompor após a colheita do cacho. Esse procedimento pode facilitar a proliferação de pragas (DEMARCHI, 2010) ou mesmo causar emissões de gases oriundos do processo de decomposição. Algumas iniciativas têm investigado como aproveitar essa biomassa, gerando materiais ou produtos com valor agregado.

Nesse sentido, o objetivo desse artigo é discutir as iniciativas voltadas ao reaproveitamento dessa fibra no design de produtos. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica em bases de dados nacionais (Periódicos Capes, Domínio Público, Scielo, Embrapa, INPI e Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas), bem como em internacionais (Scopus e Ebsco), além de anais de eventos, como o Design & Materiais e o P&D Design.

Como palavras-chave (strings) em bases nacionais foram utilizadas as variantes do radical "banan (a, eira)" e o termo "materiais". Já para as bases internacionais foram utilizados "banana" e "materiais". Inicialmente optou-se por filtrar os resultados com a adição do termo "design". Porém, como os resultados foram quase que totalmente eliminados, decidiu-se filtrar por exclusão, eliminando os resultados relativos a campos de estudo como nutrição ou áreas não ligadas ao desenvolvimento de materiais.

REFERENCIAL TEÓRICO**Bananeira e Extração da Fibra**

A bananeira é uma planta de origem tropical, cujas raízes são curtas e estão fixadas em um caule curto e subterrâneo (rizoma). O pseudocaule aparece logo em seguida, acima do solo e é dele que se ramificam folhas grandes e alongadas. A inflorescência acontece no centro da copa, com a junção de flores que formarão o cacho de banana. Após a frutificação, a planta morre e, portanto, após a colheita do cacho a planta é comumente cortada pelos agricultores. Sua reprodução ocorre com o brotamento de filhos em suas bases (DEMARCHI, 2010; PAPADOULOS, 2018). A figura 1 apresenta a estrutura de uma bananeira.

Figura 1- Estrutura de uma bananeira



Fonte: Adaptado de Demarchi (2010, p. 37)

Papadoulos (2018) afirma que a plantação de bananas pode se manter por cerca de 25 anos apenas com esse processo de brotamento lateral da planta. Esse processo também garante um ciclo produtivo relativamente curto, em especial nas regiões tropicais. Com isso, é esperado que sejam geradas algumas toneladas de pseudocaules por hectare a cada colheita.

O pseudocaule da bananeira é cortado pouco acima do solo. Em sua estrutura, constam as bainhas foliares, que correspondem a camadas ocas, que se soltam facilmente. Comumente, essas camadas são retiradas manualmente, e então cortadas em tiras e diferenciadas em cinco tipos de fibras (FERREIRA, 2017). As camadas mais externas são mais escuras e mais resistentes e, ao passo que as mais próximas ao centro são mais claras e mais frágeis (ROCHA, 2010).

Após a secagem, que é comumente realizada ao sol, as fibras obtêm sua coloração bege clara, devendo ser umedecidas para que sejam trabalhadas manualmente (ROCHA, 2010). É comum que as fibras obtidas por esse processo sejam utilizadas em artesanato, como na confecção de

bolsas, cestos, enfeites e tapetes (RAZERA, 2006).

Desenvolvimentos com fibras de bananeira

Após busca em diversas bases de dados, foi possível constatar que a utilização das fibras do pseudocaule na produção de artefatos pelo design é um tema pouco explorado. Não foram encontrados registros de patentes referentes a materiais providos da utilização dessa fibra, apenas de alguns equipamentos de transporte utilizados na colheita das frutas.

Foi possível localizar também uma empresa paulista especializada na produção de materiais com resíduos, a Tamoios Tecnologia. A empresa apresenta em seu sítio o IVAT, que é um revestimento obtido a partir da palha do pseudocaule. Esse revestimento pode ser aplicado em diversos artefatos, e até mesmo em paredes (TAMOIOS TECNOLOGIA, 2019).

Figura 2 - Padrões e revestimento IVAT aplicado à uma parede



Fonte: Adaptado de Tamoios Tecnologia (2019)

Já quanto aos desenvolvimentos relacionados aos desenvolvimentos de materiais, tem-se o estudo de Amaral, Nunes Filho e Teixeira (2016), que realizaram um estudo sobre a utilização das fibras do pseudocaule como material de reforço na produção de compósitos. Os autores afirmam que além de uma destinação mais ambientalmente correta, essa prática pode oferecer uma fonte de renda aos produtores.

Pickering, Efendy e Le (2016) afirmam que os compósitos com fibras naturais estão cada vez mais próximos de nivelar suas propriedades àsquelas dos convencionais. Os autores afirmam que os menores diâmetros da fibra de bananeira são melhores para transferir as solicitações pela área dos compósitos.

Guimarães et al. (2015) utilizaram a fibra juntamente com a madeira de eucalipto para desenvolver um painel de material particulado (MDP). Os resultados dos ensaios realizados demonstraram que a proporção da fibra no painel contribuiu com as qualidades do painel. Os autores concluem que esse material, que constitui um resíduo da agricultura, pode ser adicionado aos painéis convencionais sem afetar sua qualidade.

Papadoulos (2018) desenvolveu um painel MDP de camada única, produzido com lascas (chips) de banana de dimensões similares àsquelas de madeira comumente utilizadas na indústria.

O autor utilizou uma resina de uréia formaldeído como aglutinante. O estudo revelou que é possível produzir painéis dessa natureza, mas que alguns ajustes ainda precisam ser realizados. Um deles se refere ao ensaio com imersão do material em água, no qual ainda houve um inchamento devido à absorção de água.

Sharma e Kumar (2003) criaram um compósito multicamadas alternando fibras com uma película de poliuretano. As características estruturais do material obtido possibilitam sua aplicação como material de construção, como em telhados, por exemplo. Os autores afirmam que a composição alternada melhorou a interface da fibra com o polímero, aumentando seu módulo de elasticidade em relação aos que não utilizam essa técnica.

Monzón et al. (2019) apresentam um tecido feito com uma matriz de polipropileno e fibras de bananeira tratadas por enzimas. Seus resultados demonstraram que o novo tecido apresentou resultados inferiores ao linho convencional. Segundo os autores, o processo de fiação prejudica as propriedades mecânicas da fibra. Os tecidos criados e avaliados podem ser visualizados na Figura 2.

Figura 2 - Amostras de tecidos com fibras de bananeira



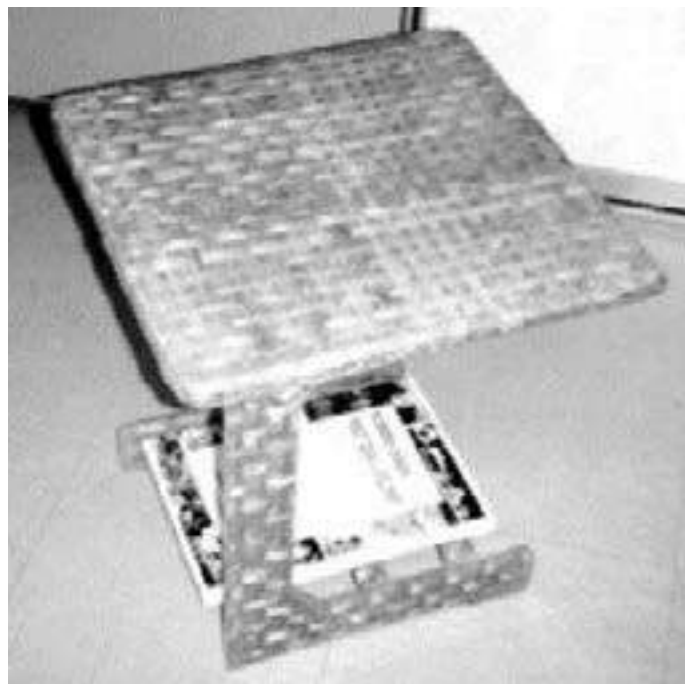
Fonte: Monzón et al. (2019,p.4)

Por outro lado, Shuying, Wei e Yucang (2015) descrevem três processos de tratamento químico das fibras de pseudocaule: pré-ácido, pré-oxigênio e alcalino. Os autores apontam que após os tratamentos, as fibras ficaram mais macias e tiveram um aumento de 13% na resistência à tração e 6,5% na taxa de alongamento, além de um decréscimo no módulo de elasticidade na ordem de 14%. Por fim, destacam que as fibras de pseudocaule tratadas têm potencial como material têxtil.

Sapuan, Harun e Abbas (2007) utilizaram as fibras do pseudocaule de uma variedade de banana comum na Malásia para criar um compósito à base de epóxi. O processo de confecção do produto seguiu um processo de laminação em molde de silicone, no qual as camadas de fibras obtidas do pseudocaule foram cobertas com resina epóxi comercialmente disponível. Um processo de montagem final com parafusos e alguns dispositivos adicionais foi utilizado para montar a mesa. O produto final pode ser visualizado na Figura 3.

Razera (2006) apresentou um compósito de matriz fenólica reforçado com fibras de bananeira. Em ensaios realizados, o autor afirma que maiores proporções de fibra no compósito aumentaram a resistência ao impacto, até o limite de 90%. Nesse limite, pode-se considerar que a resina fenólica atuou apenas como adesivo para um aglomerado de fibras. O autor também obteve bons resultados com matrizes de lignina, indicando a possibilidade de utilização desse material.

Figura 3: Mesa em compósito de epóxi com fibra de bananeira



Fonte: Sapuan, Harun e Abbas (2007,p. 68)

CONCLUSÕES

A utilização das fibras do pseudocaule da bananeira ainda é um tema pouco explorado pelo design. Grande parte da utilização ainda é reservada ao artesanato, realizado com as variedades da fibra para produzir bolsas e enfeites. Iniciativas como a da Tamoios Tecnologia são promissoras e podem atender a um mercado cada vez mais conscientes dos impactos ao meio ambiente.

Os estudos levantados permitem concluir que a utilização das fibras do pseudocaule da bananeira é tecnicamente factível, e comumente apresenta resultados satisfatórios. No entanto, a maioria das iniciativas lida apenas com o desenvolvimento e ensaios do material, e não com a sua aplicação. A maioria desses desenvolvimentos está relacionada à produção de compósitos com matriz polimérica, que utilizam as fibras como material de reforço.

As fibras de pseudocaule têm boas propriedades mecânicas, comparáveis às de outras fibras mais comuns, como o sisai. Além disso, desenvolvimentos no tratamento aproximam as propriedades dos materiais reforçados com fibras naturais daquelas dos compósitos tradicionais, reforçados com fibras sintéticas ou minerais.

Iniciativas como a de Sapuan, Harun e Abbas (2007) também são valiosas. Essas apontam na direção da aplicação efetiva das fibras em produtos finais, mostrando que é possível obter resultados satisfatórios, tanto em termos estéticos quanto funcionais. No entanto, após buscas em anais de eventos nacionais relacionados ao design, poucas foram as iniciativas relacionadas ao uso de materiais provenientes de fibras naturais e, mais raras ainda as relacionadas ao uso das fibras de bananeiras.

Por fim, ressalta-se que é preciso incentivar cada vez mais a produção e uso desse tipo de material. Não somente pela redução dos impactos causados por aqueles que foram substituídos, mas também por atividades que terão um melhor aproveitamento de seus subprodutos (como a bananicultura).

Para o campo do design, são diversas as possibilidades de aplicação dessas fibras, como o revestimento de materiais tradicionais, que caracterizam um apelo estético diferenciado. No entanto, dadas as suas características mecânicas, principalmente quando combinadas a outros elementos, podem ser utilizadas até mesmo como material estrutural do produto, conferindo qualidade além de beleza.

REFERÊNCIAS

DEMARCHI, Carlos Alberto. Aplicabilidade de placas de fibra de bananeira: caracterização, produção e absorção sonora. 2010. 106 fl. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento- Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.

FERREIRA, Luciana. Fibra da bananeira. Manaus: Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, 2017. 5 p.

GUIMARÃES, B. M. R. et al. Physical Properties of MDP Panels Produced with Different Proportions of Wood and Pseudostem. Key Engineering Materials, v. 668, p. 48-53, out. 2015. <omitido para revisao cega>

K.L. PICKERING, K. L.; ARUAN EFENDY, M. G.; LE, T.M. Le. A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. Composites:Part A. Elsevier A 83, 2016, p.p. 98-112

MARINELLI, A. L. et al. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica. Polímeros, v. 18, n. 2, p. 92-99,jun . 2008.

MONZÓN, M. et al. Experimental Analysis and Simulation of Novel Technical Textile Reinforced Composite of Banana Fibre. Materiais, v. 12, n. 7, p. 1134, 7 abr. 2019.

PAPADOPOULOS, A. Banana chips (Musa acuminata) as an alternative lignocellulosic raw material for particle board manufacture. Maderas. Ciencia y tecnología, v. 20, n. ahead, p. 0--0, 2018.

PICKERING, K. L.; EFENDY, M. G. A.; LE, T. M. A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, v. 83, p. 98-112, 2016.

RAZERA, I. A. T. Fibras lignocelulósicas como agente de reforço de compósitos de matriz fenólica e lignofenólica. [s.l.] Universidade de São Paulo - USP, 2006.

SAPUAN, S.M.; HARUN, N.; ABBAS, K.A. Design and fabrication of a multipurpose table using a composite of epoxy and banana pseudostem fibres. Journal of Tropical Agriculture 45 (1- 2): 66-68, 2007

ROCHA, Quédina Martins. Artesanato em Palha de Bananeira. In: VALADÃO, Lúcio Taveira; LUZ, Ricardo de Magalhães; NAKAMURA, Wilson (Org.). Caderno de inovações tecnológicas: espaço de valorização da agricultura familiar. Brasília: Emater, 2010. Cap. 3. p. 17-19.

SHARMA, N. K.; K V. Studies on properties of banana fiber reinforced green composite. Journal of Reinforced Plastics and Composites, v. 32, n. 8, p. 525-532, 15 abr. 2013.

SHUYING, X.; WEI, T.; YUCANG, Z. Process of degumming by chemical for banana pseudostem fibers and characterization of degummed fibers. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, v. 31, n. 13, p. 301-308, 2015.

TAMOIOS TECNOLOGIA (São Paulo). Revestimento Ecológico. Disponível em: <<http://tamoioستكنولوجيا.eom.br/tamoios-lanca-revestimento-ecologico>>. Acesso em: 01 mar. 2019.

.

.

AVALIAÇÃO DO ACABAMENTO SUPERFICIAL DE MÁRMORES USINADOS A SECO POR FERRAMENTA DE AÇO RÁPIDO E FERRAMENTA DIAMANTADA

Gabriel Barbieri
Luciano Santos da Silva
Lauren Duarte
Liane Roldo
Fábio Pinto Silva
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

RESUMO

Os mármore são rochas ornamentais amplamente utilizadas em projetos para áreas internas ou externas. Devido a crescente demanda, as tecnologias para o corte desses materiais são cada vez mais aprimoradas, como, por exemplo, a usinagem por comando numérico computadorizado (CNC). Essa pesquisa compreende a análise comparativa do acabamento superficial obtido por usinagem CNC a seco, para duas amostras de mármore branco comerciais (Carrara e Branco Bahia) utilizando dois tipos de ferramentas: de aço rápido com geometria definida, e com insertos de diamantes em matriz metálica sem geometria definida. Após a usinagem dos blocos de mármore, as superfícies usinadas e o cavaco oriundo do processo foram analisados. Foram obtidas as médias de rugosidade e imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) para avaliar a qualidade de superfície. Os resultados indicam que a ferramenta de diamante proporciona um acabamento superior para os dois tipos de mármore, visto que essa ferramenta rompe o material preferencialmente em planos de clivagem da calcita, principal constituinte dessas rochas ornamentais.

Palavras-chave: Usinagem CNC, mármore, ferramentas de corte, acabamento superficial.

ABSTRACT

Marbles are ornamental rocks widely used in projects for indoor or outdoor areas. Due to the increasing demand, technologies for cutting these materials are continuously improving, such as CNC machining. This research comprises the comparative analysis of the surface finish obtained by dry CNC machining for two commercial white marble samples (Carrara and Branco Bahia) using two types of cutting tools: a high-speed steel tool with defined geometry and a diamond tool with undefined geometry. After machining the marble blocks, the machined surfaces and the chips resulting from the process were analyzed. Roughness averages and scanning electron microscopy (SEM) images were obtained to evaluate the surface quality. The results suggest that the diamond tool may provide a better finish for the two types of marble, given that this tool breaks the material preferably into cleavage planes of calcite, a main component of these ornamental rocks.

Keywords: CNC machining, marbles, cutting tools, surface finishing.

INTRODUÇÃO

A indústria brasileira de rochas ornamentais é considerada a maior indústria das Américas e uma das maiores mundialmente no abastecimento do mercado (MONTANI, 2017). Tendo em vista o crescimento desse setor na economia brasileira e investimentos em tecnologias que otimizam o processo produtivo de peças em mármore, a utilização de usinagem por comando numérico computadorizado (CNC) para desenvolvimento de relevos e geometrias será um método diferencial no desenvolvimento de produtos para o setor de revestimentos. Observou-se que os trabalhos científicos relacionados com essa matéria prima ainda são escassos. As variáveis do processo, tal como o tipo de ferramenta utilizado e a influência das características intrínsecas do material, serão consideradas nesse trabalho.

A usinagem consiste em todo e qualquer processo no qual haja remoção, seja ela mecânica ou não, de uma determinada quantidade de material de uma peça, com o objetivo de adequar seu formato ao seu uso (DINIZ, 1998). Especificamente em rochas, a usinagem é influenciada pelas propriedades físico mecânicas do material, como tamanho do grão e força de ligação dos diferentes minerais constituintes. Além disso, outro fator que influencia o processo é a temperatura e força entre ferramenta e peça de trabalho (TURCHETTA, 2012).

Os mármore são rochas metamórficas, constituídas predominantemente por calcita (CaCO_3) e dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), porém, possuem impurezas como quartzo, mica, grafita, óxido de ferro, pirita, entre outros (DULIO et al., 2009), o que lhes confere uma gama de cores e texturas que é atrativa para o setor de revestimentos. Como a maioria dos constituintes são carbonatos, a dureza da rocha reflete a dureza destes minerais, que está em tomo de 3 e 4 na escala Mohs (KARACA et al., 2015). Alguns cristais ou rochas possuem maior facilidade de clivagem, ou seja, tendem a se dividir ou criar novas faces, quando expostos a determinadas direções e de acordo com sua estrutura molecular. Clivagens são superfícies planares definidas e paralelas entre si, produzidas pela ruptura de um mineral após aplicação de uma força (DANA e HURLBUT 1969). Em parâmetros de engenharia, a dureza para estas rochas está entre 180 e 200 HK na escala de dureza Knoop. Então elas são definidas como materiais de baixa dureza, quando comparadas a outras rochas ornamentais, como, por exemplo, granitos, os quais são constituídos de minerais mais duros, como feldspato e quartzo (e.g. dureza 6 e 7 na escala relativa de Mohs, respectivamente, o que corresponde a valores entre 500 e 800 HK).

Alguns estudos apontam que a qualidade da superfície é um fator determinante para o desempenho do material; esses dados podem ser observados em estudos com materiais metálicos (DAS et al., 2015; DAVIN et al., 2008), em rochas (LOPES-ARCE et al., 2010) e em construções históricas (KORKANÇ et al., 2015). Para os materiais naturais, como o mármore, a rugosidade é uma propriedade que interfere na durabilidade nas características ópticas e mecânicas (ALONSO RODRÍGUEZ et al., 2007). Além disso, demais estudos envolvem: a aplicação de técnicas de usinagem em basalto (ETCHEPARE e JÚNIOR, 2013), usinagem e análise do cavaco em mármore e arenito (UHLMANN e MANTHEI, 2015), bem como projetos em design de produto a partir do reaproveitamento de rejeito de rochas ornamentais (DOS SANTOS et al., 2009). Assim, a usinagem CNC, que é um processo de remoção de material, também pode ser utilizada para rochas ornamentais. A maioria dos processos é desenvolvida para a produção de esculturas, monumentos, elementos arquitetônicos e de design de interiores. Normalmente, as rochas ornamentais são comercializadas em formas de chapas, obtidas por máquinas de corte de serra diamantadas ou fio diamantado (PALANIKUMAR e KARTHIKEYAN, 2007; OZCELIK e YILMAZKAYA 2011). Geometrias mais complexas

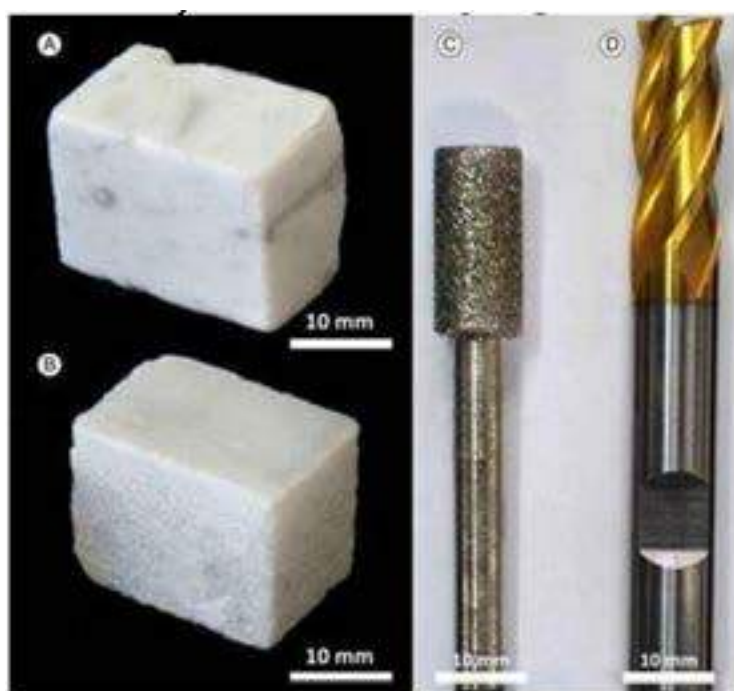
são normalmente obtidas por usinagem por jato de água (GUPTA et al., 2014), por meio do qual também são obtidos furos passantes. O fresamento é um processo que permite agregar valor ao mármore, devido à possibilidade de produção de formas mais complexas.

Neste contexto, o objetivo do estudo é analisar o acabamento superficial de dois mármores brancos após o processo de fresamento com uma ferramenta de aço rápido e uma ferramenta diamantada.

METODOLOGIA

Foram selecionadas duas amostras de mármore branco de nomes comerciais Carrara e Branco Bahia (Figura 1-A e 1-B), e duas ferramentas de tipos distintos, uma ferramenta com insertos de diamante em matriz metálica (Diamax 2231), sem geometria definida (Figura 1-C) e uma de aço rápido (AISI M2) com revestimento de nitreto de titânio (TiN) evidenciado pela cobertura dourada (New Century E8574) e com geometria definida (Figura 1-D).

Figura 1. A) amostra de mármore Carrara; B) Amostra de mármore Branco Bahia; C) Ferramenta diamantada; D) Ferramenta de aço rápido



O processo metodológico (figura 2) foi dividido nas etapas de seleção e caracterização de amostras de mármore, seleção de ferramentas de usinagem, escolha do equipamento de fresamento e definição de parâmetros para o processo. Posteriormente, foram realizadas análises de rugosidade e de microscopia. Os dados foram cruzados a fim de comparar o acabamento superficial após usinagem do mármore.

Figura 2 - Procedimento experimental



Com o objetivo de caracterizar quantitativamente a composição química das amostras, os dois mármore selecionados foram analisados por fluorescência de raios X. Para tanto, utilizou-se o equipamento XRF-1800 Sequential X-ray Fluorescence Spectrometer -Shimadzu.

Para o processo de usinagem, as amostras foram cortadas em corpos de prova com dimensões de 25 x 20 x 15 mm no equipamento Multimachine Lapidart. Ao total, foram usinadas oito amostras, quatro de mármore de Carrara (duas com ferramenta de aço rápido e duas com ferramenta diamantada) e quatro do mármore Branco Bahia (duas com cada ferramenta).

Os parâmetros de corte referentes à usinagem em mármore foram baseados na velocidade de corte (V_c), no avanço (f) e na profundidade de corte (a_p) utilizados por Turchetta (2012). Dessa forma, foram realizados dois passes de desbaste em cada amostra com 1 mm cada e um passe de acabamento de 0,2 mm. Todas as amostras foram usinadas de acordo com os parâmetros listados na tabela 1. Tais parâmetros resultaram em uma velocidade de corte de 188,4 mm/min e o sentido de usinagem adotado foi discordante. Para verificar o desgaste das ferramentas, essas foram observadas antes e após os ensaios na lupa estereoscópica (Olympus SZX16).

Tabela 1: Parâmetros de usinagem para o marmore Carrara e Branco Bahia.

Parâmetros de usinagem	Valores
Profundidade de corte (a_p)	0,2 mm
Velocidade de avanço (V_f)	210 mm/min
Penetração de trabalho (a_e)	10 mm
Rotação (n)	6000 RPM
Diâmetro da ferramenta(d)	10mm

Para quantificar a rugosidade após a usinagem, as amostras foram submetidas a ensaio com o rugosímetro Mitutoyo Surftest 401, no qual então se obtiveram os parâmetros R_a e R_q . O parâmetro R_a corresponde à média aritmética dos picos e vales da superfície em um dado comprimento da amostra. O parâmetro R_q corresponde à média do desvio quadrático do perfil de rugosidade, que é influenciada por picos isolados ou vales isolados, em um dado comprimento da amostra (KORKANÇ e SAVRAN, 2015). Foi definido um comprimento de amostragem (cut-off) de 0,25 mm,

e em cada amostra foram realizadas 18 medições longitudinais (no sentido de corte da usinagem) e 18 transversais (no sentido transversal ao corte da usinagem) em partes distintas (ABNT NBR ISO 4287/2002). Esses dados obtidos foram tabelados e, então, calculadas as médias de rugosidade R_a e R_q .

Foram realizadas análises via microscópio eletrônico de varredura (MEV), modelo Hitachi TM3000, para observação das características do cavaco gerado pelo processo de usinagem para cada tipo diferente de ferramenta. Também, observaram-se as superfícies usinadas dos mármores.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O mármore de Carrara analisado é do tipo calcítico, que é constituído por aproximadamente 98% de CaCO_3 , que corresponde a soma de $\text{CaO} + \text{CO}_2$ dos elementos presentes no material (Tabela 2). O mármore Branco Bahia analisado possui aproximadamente 80% de CaCO_3 e é mais impuro em comparação ao Carrara, pois possui MgO , SiO_2 , Al_2O_3 em sua composição, porém, ainda é considerado um mármore calcítico.

Tabela 2: Análise de fluorescência de raios-X dos mármores Carrara e Branco Bahia.

RESULTADO % EM PESO		
COMPOSTOS	CARRARA	BRANCO BAHIA
CaO	61.3937%	39.7762 %
MgO	0.8574 %	10.6908 %
SiO ₂	0.2845 %	5.7345 %
Fe ₂ O ₃	0.1528 %	0.7676 %
Al ₂ O ₃	0.1075 %	1.6916 %
SO ₃	0.0476 %	0.0605 %
SrO	0.0338 %	0.0355 %
CO ₂	37.1228 %	40.5071 %
KO ₂	---	0.6662 %
P ₂ O ₅	---	0.0699%

Após a caracterização dos mármores, realizaram-se os ensaios de usinagem. A Figura 3 mostra o desgaste na ferramenta de aço rápido após usinar amostras de mármore Branco Bahia. Observou-se um desgaste excessivo (Figura 3-B) que condiciona a exclusão dessa ferramenta para o uso em materiais rochosos. Esse desgaste é evidenciado quando comparando com a ferramenta nova (Figura 3-A). Notou-se, também, que a ferramenta de aço rápido apresentou desgaste da cobertura de nitreto de titânio, devido ao atrito com a amostra. Nos parâmetros propostos, foi possível usinar no máximo 2 metros lineares sem que a ferramenta se desgastasse. Já, ao utilizar ferramenta diamantada, o desgaste foi menor, imperceptível a olho nu. Observou-se, ao término da usinagem,

que os grãos de diamante continuaram em grande parte inseridos na matriz (Figura 3- D), em comparação com a ferramenta nova (Figura 3-C).

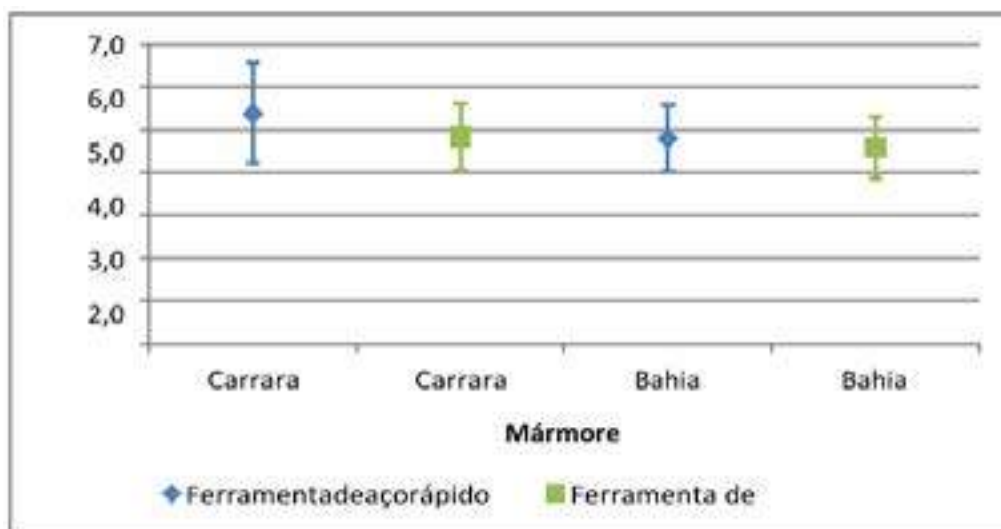
Figura 3: Comparativo do desgaste da ferramenta



(a) Ferramenta aço rápido sem uso; (B) Ferramenta aço rápido após uso, a seta indica a área desgastada; (C) Ferramenta diamantada sem uso; (D) Ferramenta diamantada após uso de 2 m lineares.

Os resultados obtidos por meio das análises nos blocos usinados de mármore, com o uso do rugosímetro, mostraram pequenas variações nas superfícies devido ao tipo de ferramenta utilizada. Tanto nas amostras do Carrara quanto do Branco Bahia, a usinagem com a ferramenta diamantada pode ser considerada ligeiramente melhor quando comparada com a ferramenta de aço rápido, considerando a utilização dos mesmos parâmetros de usinagem. O comportamento das análises de rugosidade (R_a e R_q) foi similar para todos os casos analisados, tanto para as medidas na longitudinal quanto transversal. Dessa forma, optou-se por representar o gráfico R_a apenas no sentido transversal, como mostra a figura 4.

Figura 4: Rugosidade nas amostras de Carrara e Branco Bahia para os dois tipos de ferramentas utilizados.

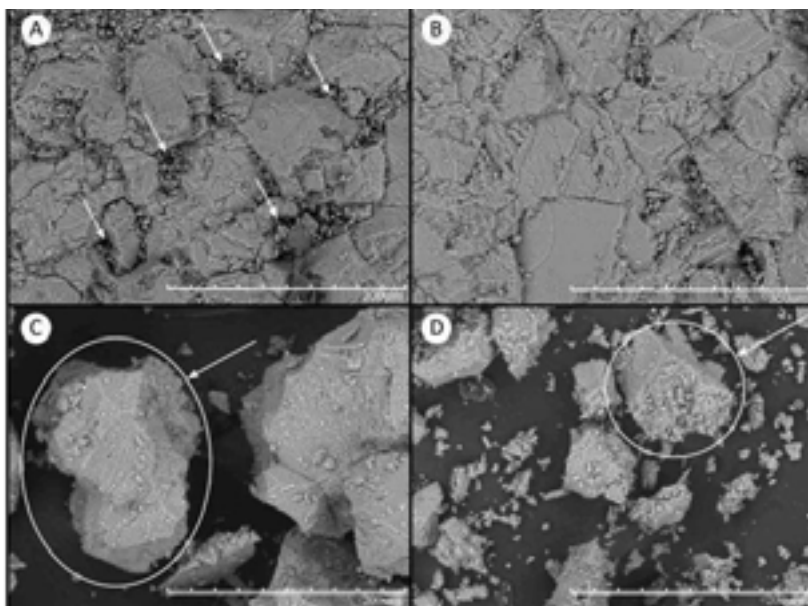


Para complementar a análise de rugosidade, as amostras foram observadas em MEV. Os resultados obtidos confirmaram o que foi observado nos ensaios de rugosidade. A Figura 5 consiste no mármore de Carrara após a usinagem, na qual podem ser comparados os resultados das duas ferramentas utilizadas e o respectivo cavaco gerado. Ao utilizar a ferramenta de aço rápido (Figura 5-A) observa-se um maior arrancamento de grão da amostra (indicado pelas setas presentes na imagem) quando comparado com a ferramenta diamantada (Figura 5-B). Atribui-se essa característica à geometria da ferramenta, visto que ao utilizar a ferramenta de geometria definida (aço rápido) partes maiores foram arrancadas da amostra (Figura 5-C). Já na ferramenta de geometria não definida (diamantada) a tendência foi um corte mais homogêneo arrancando porções menores da

amostra (Figura 5-D). Nessas duas últimas imagens, são destacados os tamanhos dos cavacos gerados. Cabe salientar que Uhlmann e Manthei (2015) também observaram que a ação da ferramenta com geometria definida ao usinar o mármore gera um maior arrancamento e consequentemente um maior cavaco, isso, muitas vezes pode afetar a qualidade superficial da rocha, comprometendo seu uso como material para determinada finalidade.

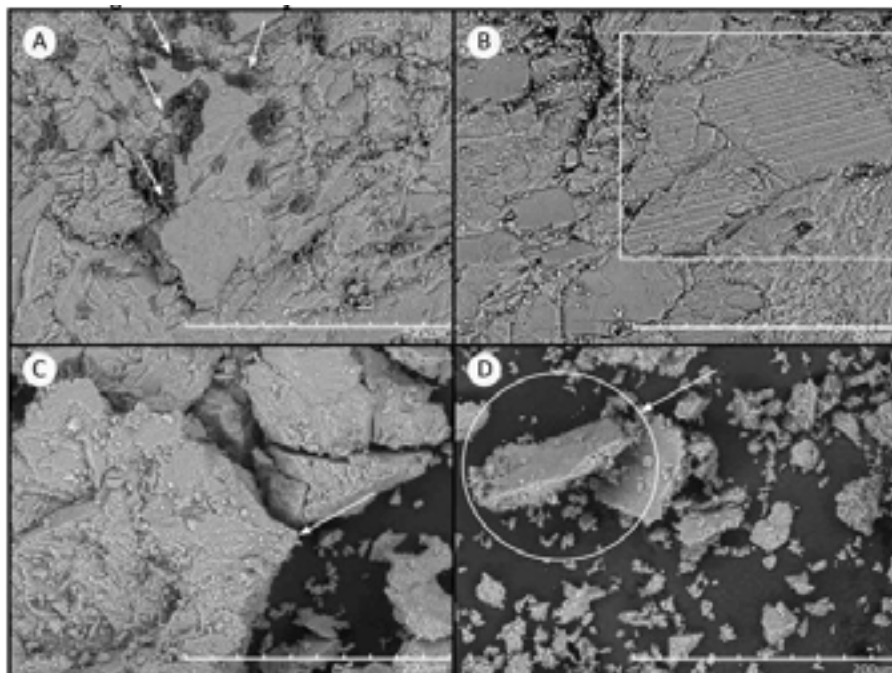
Para o mármore Branco Bahia (Figura 6), apesar do aspecto superficial ser similar ao do Carrara (Figura 5), a superfície aparenta ser mais regular. Assim como para o primeiro caso, a ferramenta de aço rápido proporcionou maior arrancamento de grãos (Figura 6-A), o que é indicado pelas setas presentes na imagem. Já com a ferramenta diamantada (Figura 6-B), observa-se (no destaque por meio do retângulo) uma área de corte na qual é evidenciada a passagem da fresa, formando estrias no material. Esse comportamento é também representado pelos cavacos maiores da ferramenta de aço rápido (Figura 6-C) em relação à ferramenta diamantada (Figura 6-D). Os cavacos gerados são novamente destacados nas imagens de MEV.

Figura 5: Microscopia eletrônica de varredura do mármore Carrara.



(A) Superfície usinada com ferramenta de aço rápido. (B) Superfície usinada com ferramenta diamantada. (C) Cavaco gerado pela ferramenta de aço rápido. (D) Cavaco gerado pela ferramenta diamantada.

Figura 6: Microscopia eletrônica de varredura do mármore Branco Bahia.



(A) Superfície usinada com ferramenta de aço rápido. (B) Superfície usinada com ferramenta diamantada. (C) Cavaco gerado pela ferramenta de aço rápido. (D) Cavaco gerado pela ferramenta diamantada.

Além da baixa dureza, que torna o material macio e de fácil desgaste, outra característica que se tomou relevante ao longo destes ensaios foi à clivagem, entendida como a tendência de romper planos cristalinos onde existem ligações químicas fracas. Cabe destacar que a calcita, presente nos mármore, é um mineral do sistema romboédrico (DANA, 1969) que possui clivagem perfeita em três planos. Um mineral que possui clivagem perfeita, quando submetido a esforços em determinadas direções, irá romper preferencialmente nestes planos de clivagem formando faces planas (FONTES, 1984; GROTZINGER, e JORDAN 2010). Esse comportamento é particulannente observado nas figuras 5-B e 6-B.

Conforme exposto, salienta-se que em rochas carbonáticas, devido aos planos de clivagem presentes na calcita, a ação da ferramenta tende a romper os grãos nesses planos de fraqueza. Assim como também observado por Turchetta (2012) e Miranda et al. (2005) ao usinar mármore, as ações de clivagem são condicionadas à geometria da ferramenta. Além disso, a ação da ferramenta no material faz com que o grão seja arrancado do contato de outros grãos no plano de clivagem, influenciando no acabamento da superfície.

Assim, o acabamento da superfície usinada se dá pela escolha adequada de ferramentas. Os dados obtidos indicaram que o uso de ferramentas diamantadas para usinagem em mármore é superior ao de ferramentas de aço rápido. Isso pode estar relacionado aos insertos de diamantes presentes na ferramenta, que tendem a cortar o grão da amostra. Já para a ferramenta de aço rápido, observou-se que houve uma maior tendência ao arrancamento dos grãos da rocha, prejudicando o acabamento. Além disso, quando as amostras são observadas individualmente, o melhor resultado de acabamento superficial é o do mármore Branco Bahia, destaca-se essa vantagem devido à textura da amostra observada em MEV.

CONCLUSÕES

Na usinagem de mármore comerciais, tanto com ferramenta de aço rápido quanto com ferramenta diamantada, foi possível constatar que a rugosidade da superfície se mantém com valores muito próximos. As análises de MEV indicaram que a ferramenta diamantada produz o melhor acabamento superficial no processo. Observou-se que o diamante tende a cortar mais (figura 5-B e figura 6-B) o material usinado, enquanto a ferramenta de aço rápido tende a arrancar os grãos (figura 5-A e figura 6-A) gerando uma superfície menos uniforme.

Nas ferramentas de aço rápido, mesmo com cobertura de nitreto de titânio, foi observado o arredondamento do topo da ferramenta. O desgaste ficou visível a partir de aproximadamente 2 m lineares de usinagem dos mármore, o que não é satisfatório para esse tipo de processo. Atribui-se esse desgaste à abrasão entre a rocha e a ferramenta que possui menor dureza. Apesar de a calcita ser um mineral considerado macio, foram constatadas, através da fluorescência de raios X, impurezas dispersas nas amostras (MgO , SiO_2 , Al_2O_3), em especial no mármore Branco Bahia, as quais podem interferir na qualidade da superfície do material após usinagem.

Assim, a partir da análise dos resultados, a sugestão para o processo de usinagem em mármore é a utilização de ferramentas diamantadas, as quais apresentam maior vida útil e melhor resultado de acabamento superficial. Trabalhos futuros devem ser direcionados para análises de outros parâmetros de corte, outras ferramentas de usinagem, bem como para análise petrográfica do material, a fim de fornecer informações técnico-científicas aplicadas para a usinagem de mármore brancos.

REFERÊNCIAS

- ALONSO RODRÍGUEZ, F.J.; VÁZQUEZ MENÉNDEZ, P.; ESBERT ALEMANY, R.M.; ORDAZ GARGALLO, J. "Influence of measuring condition on roughness parameters of ornamental rocks." *Preservation of natural stone and rock weathering*. 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 4287/2002. Especificações geométricas do produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil - Termos, definições e parâmetros de rugosidade. Rio de Janeiro, 2002.
- DANA, J. D.; Manual de mineralogia, vol. 2; rev. Cornelius S. Hurlbut; trad. Rui Ribeiro Franco; Editora da Universidade de SP. 1969.
- DAS, B.; ROY, S.; RAI, R.N.; SAHA, S.C. "Studies on effect of cutting parameters on surface roughness of Al- Cu-TiC MMCs: An Artificial Neural Network Approach". *PROCEDIA*. v. 45, p. 745-752, 2015.
- DAVIM J.P.; GAITONDE, V.R.; NARNIK., S.R. "Investigations into the effect of cutting conditions on surface roughness in turning of free machining steel by ANN models." *Journal of materials processing technology*. v. 205, n. 1, p. 16-23, 2008.
- DINIZ, A.E.; MARCONDES, F. N.; COPPINI, N. L. *Tecnologia da Usinagem dos Materiais*. 7 edição. São Paulo. Artliber Editora. 2010.
- DOS SANTOS, A; SAMPAIO, C.P.; VEZZOLI, C. "Cascade approach on recycling for marble and granite product design." *Materials & Design*, v. 30, n. 2, p. 287-291, 2009.
- DULIU, O.G.; GRECU, M.N.; CRISTEA, C. "EPR and x-ray diffraction investigation of some greek marbles and limestones." *Romanian Reports in Physics*, Vol. 61, No. 3, P. 487-499, 2009
- ETCHEPARE, H. D.; JÚNIOR, W. K. The Development of Decision-Making Maps for the High-Speed Machining (HSM) of Rhyodacite (Carijó Basalt) in Milling-Based Processing Applications. *Modern Mechanical Engineering*, v. 3, n. 04, p. 181, 2013.
- FONTES, M. P. F. "Introdução ao estudo de minerais e rochas." Imprensa Universitária, UFV, Viçosa, 23p, 1984.
- GROTZINGER, J.; JORDAN, T. "Understanding the Earth." 6th Edition; New York, 2010.
- GUPTA, V., PANDEY, P. M., GARG, M. P., KHANNA, R., & BATRA, N. K. Minimization of kerf taper angle and kerf width using Taguchi's method in abrasive water jet machining of marble. *Procedia Materials Science*, 6, 140-149, 2014.
- KARACA, Z.; HACIMUSTAFAOĞLU, R; GÖKÇE, M. V. "Grain properties, grain boundary interactions and their effects on the characteristics of marbles used as building stones." *Construction and Building Materials*. v. 93, p. 166-171, 2015.
- KORKANÇ, M.; SAVRAN, A. "Impact of the surface roughness of stones used in historical buildings on biodeterioration." *Construction and Building Materials*, v. 80, p. 279-294, 2015.

LOPES-ARCE, P.L.; VARAS-MURIEL, M.J.; FERNÁNDEZ-REVUELTA, B.; de BUERGO, M.Á.; FORT, R.; PÉREZ-SOBA, C. "Artificial weathering of Spanish granites subjected to salt crystallization tests: Surface roughness quantification." CATENA. v. 83, n. 2, p. 170-185, 2010.

MIRANDA, R. M.; QUINTINO, L. "Microstructural study of material removal mechanisms observed in abrasive waterjet cutting of calcareous stones." Materials characterization, v. 54, n.4, p.370-377, 2005.

MONTANI, C. Abirochas, XXVIII Rapporto Marmo e Pietre nel Mondo 2017. Aldus: Carrara (It), 2017.

OZCELIK., Y.; YILMAZKAYA, E. "The effect of the rock anisotropy on the efficiency of diamond wire cutting machines." International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences v.48, n. 4, p. 626-636, 2011.

PALANIKUMAR, K; KARTHIKEYAN, R. "Assessment of factors influencing surface roughness on the machining of Al/SiC particulate composites." Materials & design, v. 28, n. 5, p. 1584-1591, 2007.

TURCHETTA, S. "Cutting force and diamond tool wear in stone machining." The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 61(5), 441-448, 2012.

UHLMANN, E; MANTHEI, M. "Analysis of the cutting process for milling of marble and sandstone with an end mill cutter." In: International Conference on Stone and Concrete Machining (ICSCM). p. 54-60, 2015.

.