5th International Workshop - Advances in Cleaner Production
São Paulo - Brazil - 20th to 22nd, May - 2015

"Avaliação da viabilidade de produção de revestimentos cerâmicos a partir de resíduo gerado no processo de fundição, utilizando plasma eletrolítico de oxidação em liga de alumínio."

SOUZA, C.S.[a*], ANTUNES, M.L.P.[a], DALLA VALENTINA, L.V.O.[b], RANGEL, E.C.[a], CRUZ, N.C.[a]

a. UNESP, Sorocaba, São Paulo

b. UDESC, Joinville, Santa Catarina

**Corresponding author, carimesouza@outlook.com*

Academic Work

Introdução

- A atividade de fundição é um dos mais antigos processos de fabricação de peças no mundo. (MORO e AURAS, 2007).

- Estima-se que mais de 80% dos fundidos são fabricados através de moldes de areia. (MARIOTTO, 2000).

- Calcula-se que para cada tonelada de metal fundido se tenha em torno de uma tonelada de areia descartada (KLINSKY, 2008).

- No Brasil, estima-se que o volume de areia de fundição descartada é em torno de 3,34 milhões de toneladas/ano (ABIFA, 2012), estes resíduos são classificados como Classe IIA (não perigosos e não inertes) de acordo com a ABNT (SILVA, 2007).

Introdução

- O pó de exaustão de areia de fundição é um resíduo proveniente da mistura de areia de sílica e outros aditivos utilizados na fabricação de machos para a produção de peças metálicas.
- O resíduo, pó de exaustão, é separado da areia resultante do sistema de regeneração através de **captação por filtros manga** durante o processo (Pereira, 2014).
- Com os possíveis impactos ambientais decorrentes do descarte deste resíduo em aterros sanitários, o objetivo deste trabalho é reutilizar o resíduo Pó de Exaustão de Areia de Fundição para produção de revestimento cerâmico utilizando plasma eletrolítico de oxidação em liga de alumínio.

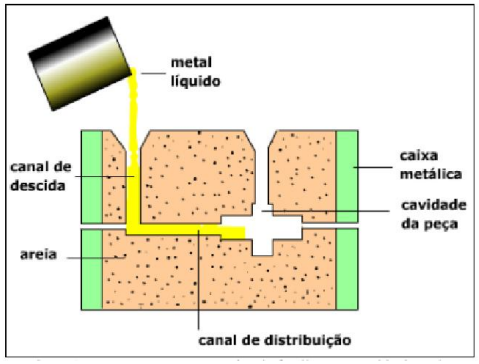


Figura 1: Representação esquemática da fundição em molde de areia. (Centro de Informação Metal Mecânica, 2010).

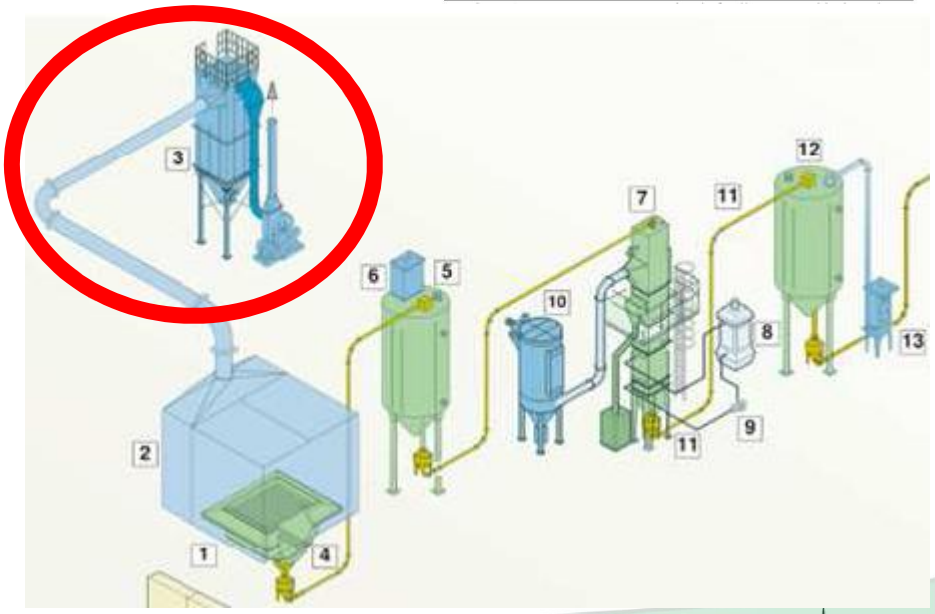


Figura 2: Sistema de areia. (IMF, 2002).

Materiais e Métodos

- O pó de exaustão de areia de fundição foi coletado em uma planta industrial da fundição Tupy, localizada em Joinville, Santa Catarina.

Figura 3: Pó de exaustão de areia de fundição.

Figura 4: Fundição Tupy.

Introdução

- A oxidação eletrolítica a plasma (PEO) é uma técnica de criação de plasma em meio aquoso, utilizando os processos conhecidos da eletrólise para a superfície de metais em óxido cerâmico (YEROKHIN, 2004).

- A amostra a ser tratada é acoplada em um dos eletrodos e imersa em uma solução eletrolítica (Figura 5). É aplicada uma diferença de potencial elétrico mais elevada que a usada em eletrólise convencional.

- Essa tensão leva a formação de gás em torno da amostra, acompanhada por uma luminescência e micro-arcos, formando o plasma.

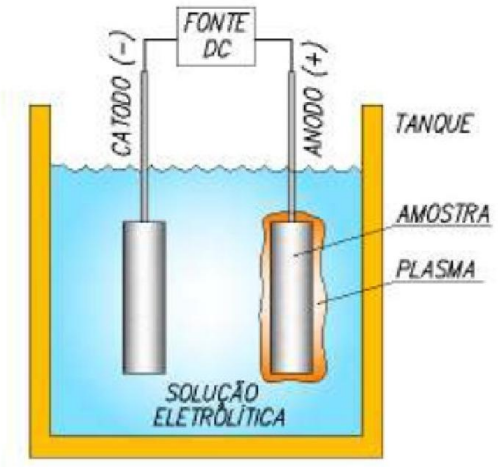


Figura 5. Representação esquemática de uma célula para o processo de oxidação por plasma eletrolítico. (ANTONIO, 2011).

- Este sistema possibilita a produção de filmes de óxidos como alumina, titânia e sílica (Yerokhin, 2004), além, de ser uma técnica versátil e menos dispendiosa que os processos de oxidação anódicos tradicionais (Alabbasi, 2013).

- Os processos a plasma são de fácil execução, limpos e financeiramente viáveis, além de poderem ser dimensionados para produções em larga escala.

Materiais e Métodos

- ***Deposição do pó de exaustão por plasma eletrolítico***

- Corrente provida por Mao Power Supply do Laboratório LapTec (Figura 6).

Figura 6: Plasma eletrolítico de oxidação (PEO).

Figura 7: Processo de oxidação por plasma eletrolítico (ANTONIO, 2011).

Materiais e Métodos

- O substrato de alumínio utilizado é composto pela liga de alumínio 5052 com a seguinte composição em massa: 0,15 a 0,35 % de Cr, 10% de Cu, 0,40% de Fe, 2,2 a 2,8% de Mg, 0,10% de Mn, 0,25% de Si, 0,10% de Zn e a porcentagem restante de alumínio (Mucsi, 2014).

- As amostras para produção do revestimento possuem a dimensão: 25 x 25 x 13 mm.

- O furo central será utilizado em análises futuras e a aba é para a fixação do substrato na parte anódica.

Figura 8: Substrato que será utilizado para as deposições.

Materiais e Métodos

- Tensão constante aplicada: 650 V
- Fonte de alta tensão: Mao Power Supply
- Catodo é constituído de aço inox
- Ciclo de trabalho de +60% e -20%
- Solução composta pelo pó de exaustão, água destilada e hidróxido de potássio (para ajuste de pH e condutividade elétrica).

- A tabela 1 apresenta as condições de deposição utilizadas para a obtenção dos revestimentos cerâmicos em liga de alumínio por PEO, deste trabalho.

Tabela 1: Parâmetros utilizados para a obtenção dos revestimentos cerâmicos para cada experimento.

Experimento	Concentração (g/L)	Frequência (Hz)	Tempo (segundos)
1	5	300	600
2	5	300	1200
3	20	300	600
4	20	300	1200

Materiais e Métodos

- ***Caracterização do resíduo e da deposição***

- A **morfologia** das amostras foi analisada por micrografias tridimensionais obtidas através da **Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)**

- A **composição elementar** foi feita através da técnica de **Espectrometria de Dispersão de Energia (EDS),** utilizando um microscópio de varredura JEOL JSM-6010LA.

- A **cristalinidade** foi avaliada pela técnica de **Difração de Raios-X (DRX),** utilizando um difratômetro Panalytical X´Pert Pro, operado a 45kV e 40mA, usando radiação Kα do cobre.

- Todos os equipamentos são do Laboratório Multiusuário de Caracterização de Materiais – MCMat.

Materiais e Métodos

- ***Caracterização dos revestimentos cerâmicos***

- Os revestimentos cerâmicos foram analisados quanto a sua molhabilidade para verificar as características hidrofílicas e hidrofóbicas.

Figura 9: A análise foi realizada pelo Goniômetro Ramé-Hart, inc. modelo nº100-000.

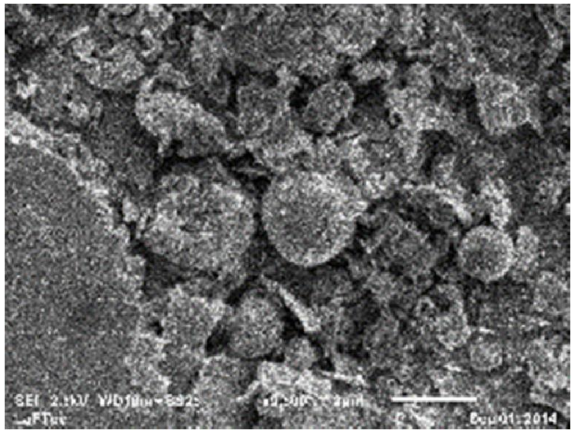
- Para a medida de molhabilidade foram utilizadas três gotas de água destilada por amostra e para cada gota foram feitas 10 medições.

Resultados

- ***Caracterização do pó de exaustão de areia de fundição***

- A Fig. 11(A), mostra que o pó de exaustão é composto de **partículas de diferentes formas e tamanhos**, algumas partículas com **dimensões menores que 2 µm**. A Fig. 11(B), apresenta os diferentes tamanhos, com **partículas de dimensões superior a 50 µm.**

Figura 10: Pó de exaustão de areia de fundição.



(A)

(B)

Figura 11: Micrografias do pó de exaustão **(A)** Aumento de 9500x e **(B)** Aumento de 500x.

Resultados

- A análise por **EDS** mostrou a presença de **titânio, ferro, sódio, magnésio, alumínio, silício, potássio e cálcio.**

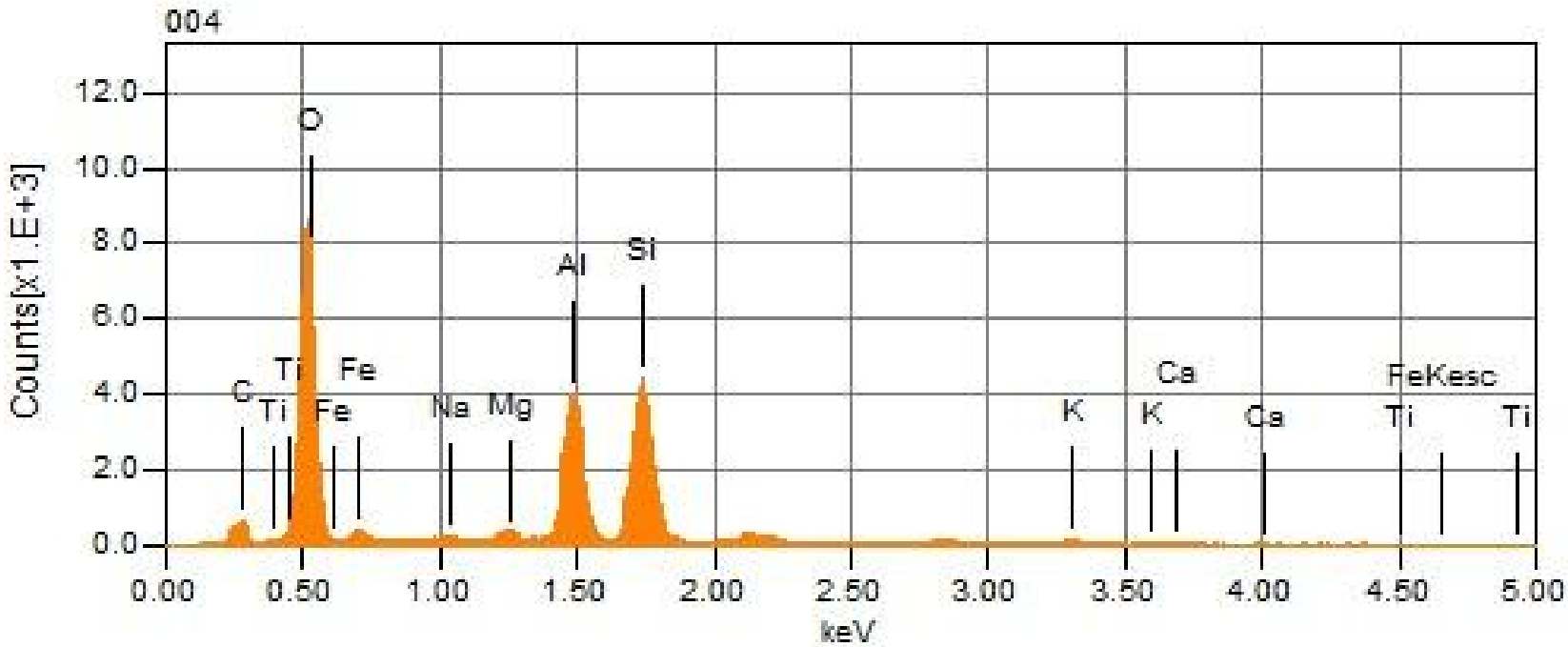


Figura 12: Análise elementar por EDS do pó de exaustão de Areia de Fundição.

Resultados

- A análise por **DRX** mostrou a presença de **Quartzo**

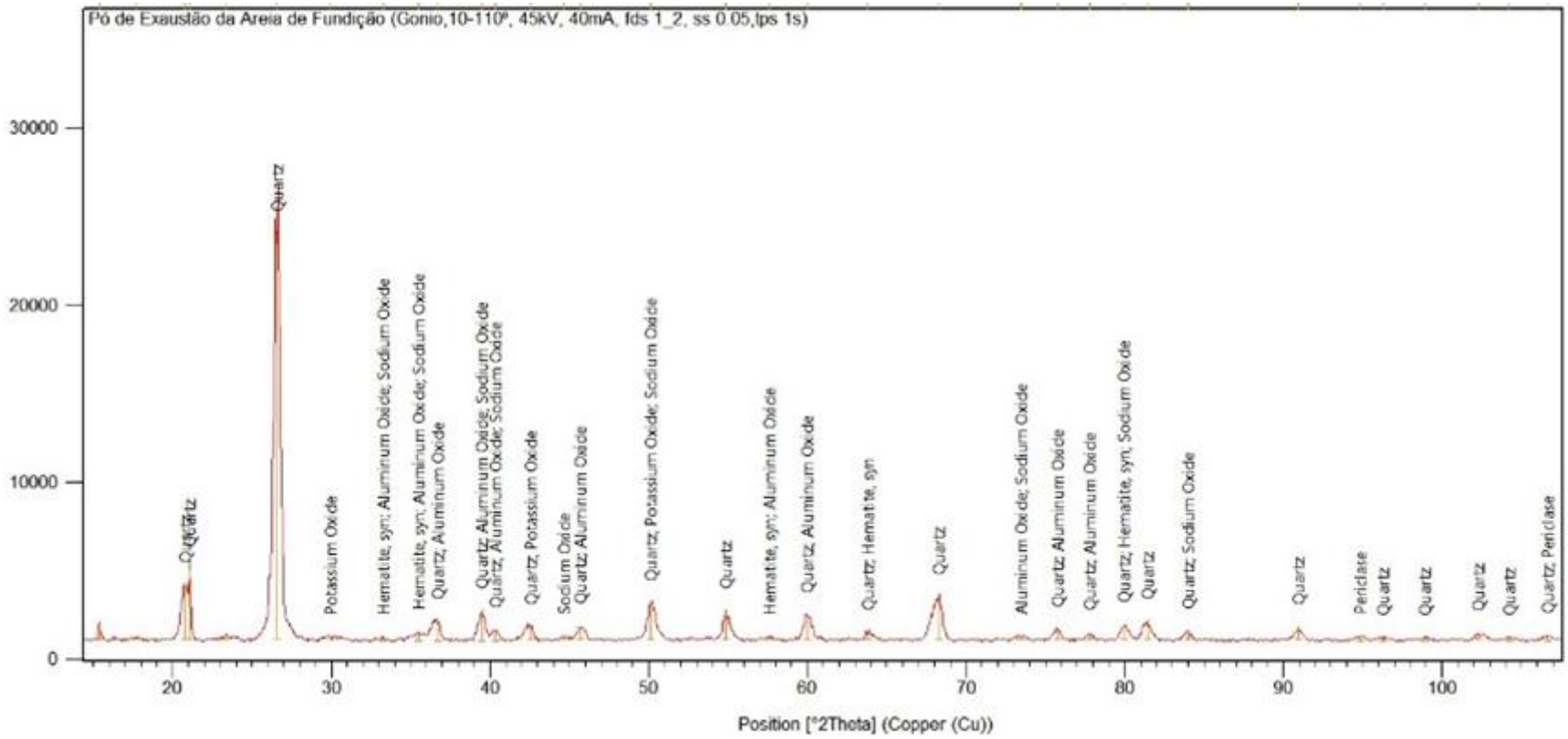


Figura 13: Difratograma do pó de exaustão de Areia de Fundição.

Resultados

- ***Caracterização do substrato de alumínio***

Figura 14: Substrato de Alumínio.

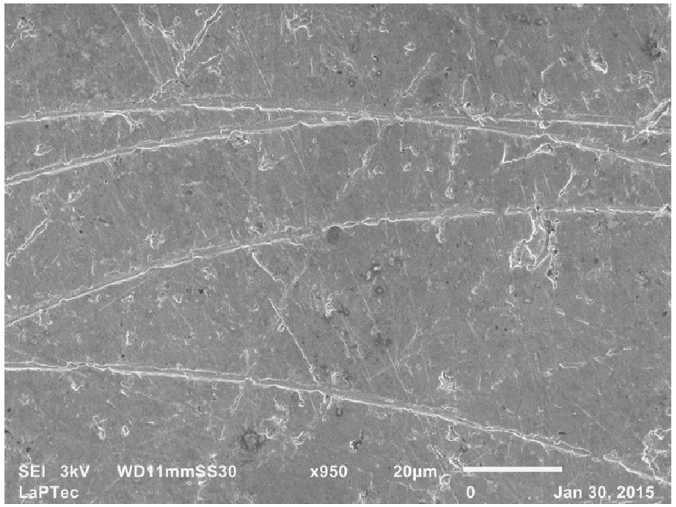


Figura 15: Micrografias do Substrato de Alumínio com aumento de 950x.

Resultados

- A análise por **EDS**, dos substratos de alumínio, mostrou a presença de **ferro ,cromo, magnésio, manganês, silício e alumínio.**

- Estes elementos são descritos na literatura como correspondente a liga de alumínio 5052.

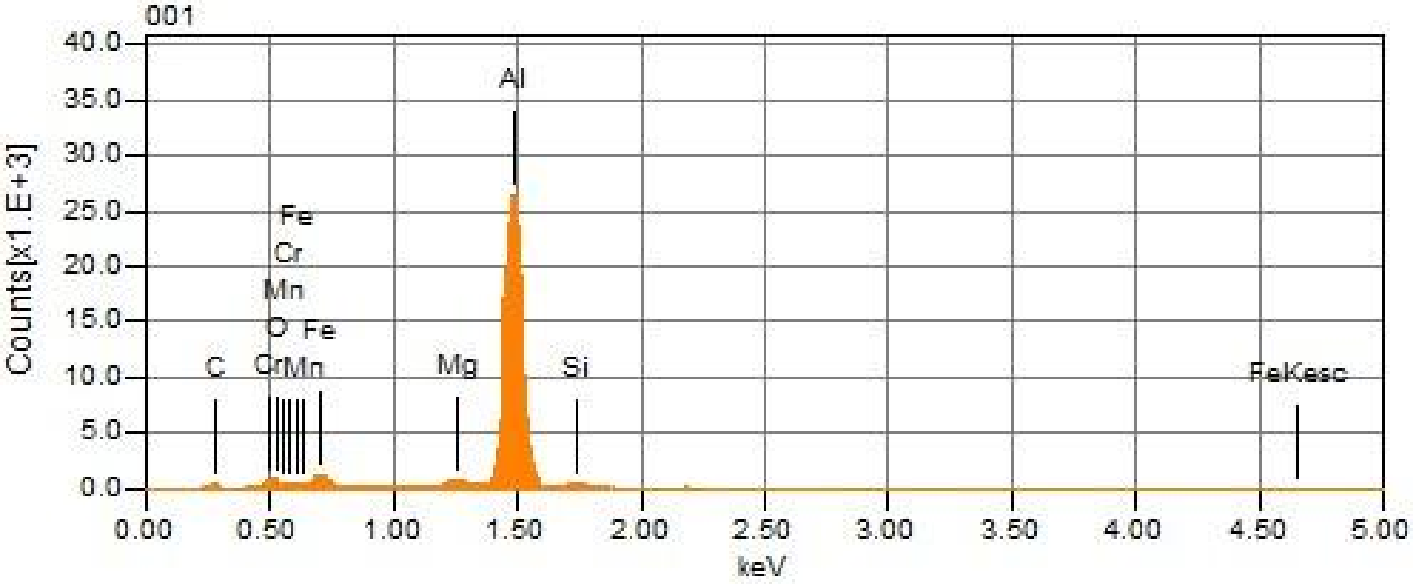


Figura 16: Análise elementar por EDS do Substrato de Alumínio.

Resultados

- A Fig. 17 apresenta o espectro de difração de raios-X, **DRX** do substrato de alumínio. Observam-se os **picos cristalinos do alumínio** como material predominante.

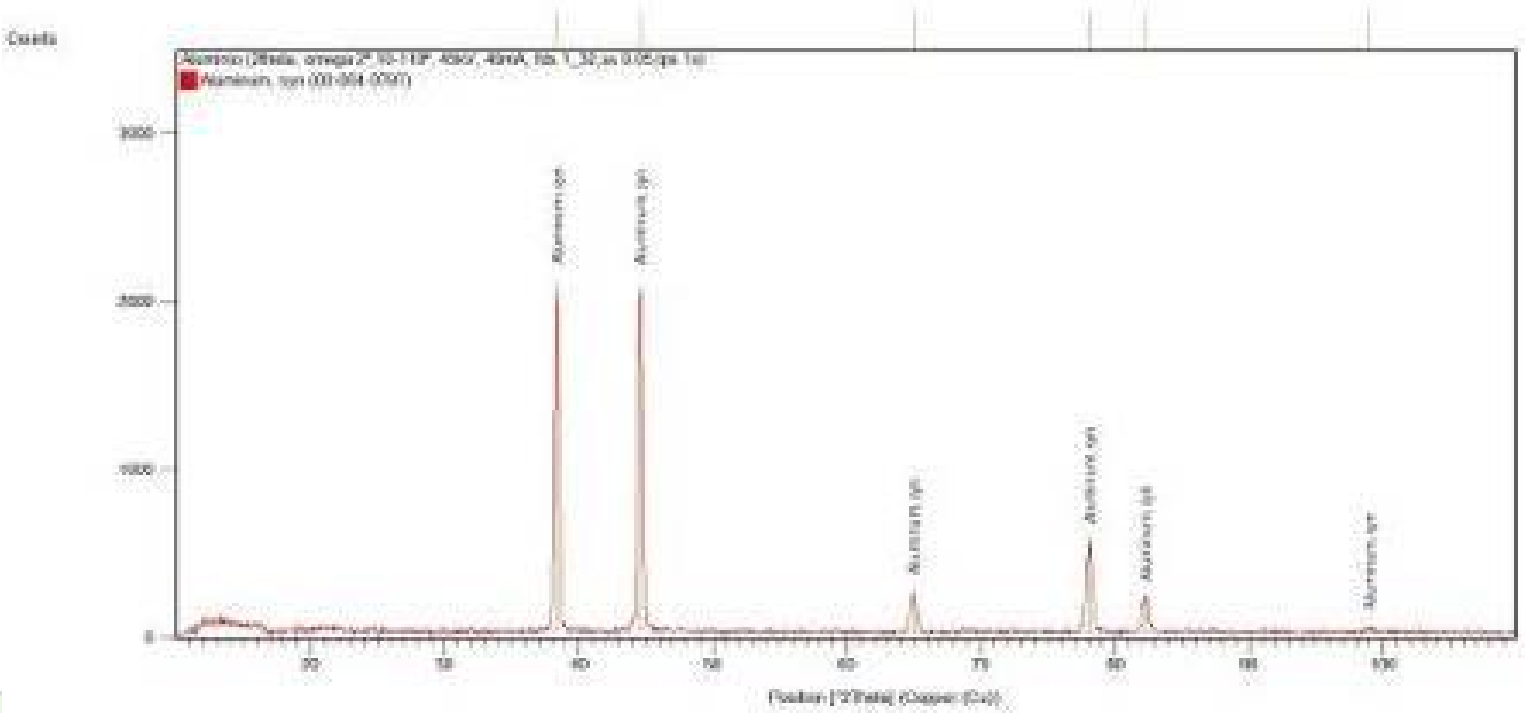


Figura 17: Espectro de difração de raios-X do Substrato de Alumínio.

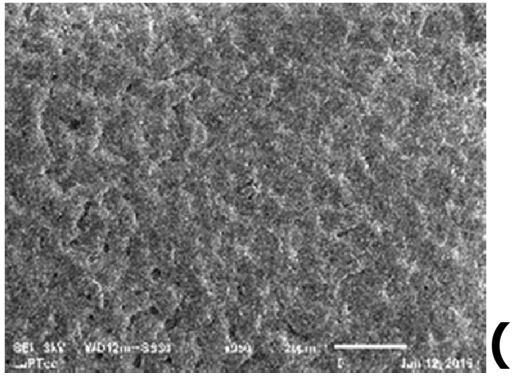
Resultados

- ***Experimento 1: 5g/L, 300Hz, 600s***

- O revestimento da Fig. 18 pode ser visto em detalhes na Fig. 19.

Figura 18: Revestimento Experimento 1.

(A)



(B)

Fig. 19. Micrografias do Experimento 1 **(A)** Aumento de 9500x e **(B)** Aumento de 950x.

- Na Fig. 19(A) pode-se observar a ocorrência de **poros menores que 5 µm** no revestimento. A Figura 19(B) mostra as **várias estruturas de coalescência**, **fenômeno que ocorre apenas a milhares de graus**, que aparecem em todo o revestimento.

Resultados

- Os elementos químicos identificados por **EDS** para o revestimento obtido na condição do experimento 1, são: **ferro, sódio, magnésio, alumínio e silício.**
- Sendo o **sódio um elemento presente apenas no pó de exaustão**, mostrando que os elementos da solução eletrolítica são **incorporados ao revestimento**.

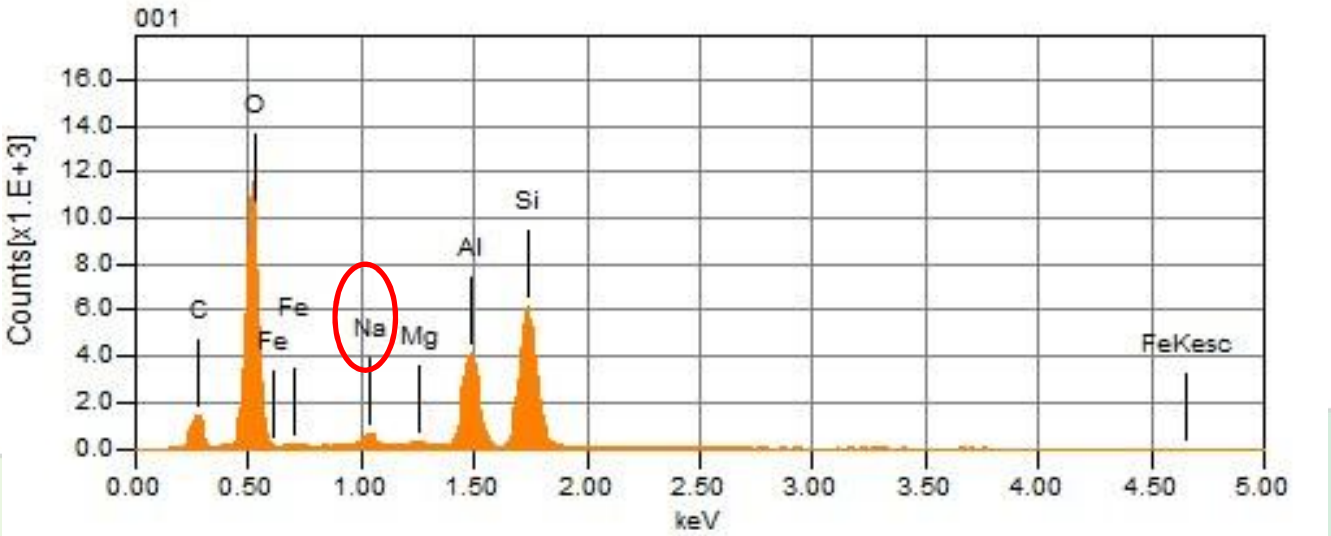


Figura 20: Análise elementar por EDS do Experimento 1.

Resultados

- A Fig. 21 apresenta o espectro de difração de raios-X, **DRX** da deposição do Experimento 1, onde são identificados os picos cristalinos correspondentes a **alumina, alumínio e hidróxido de sódio.**

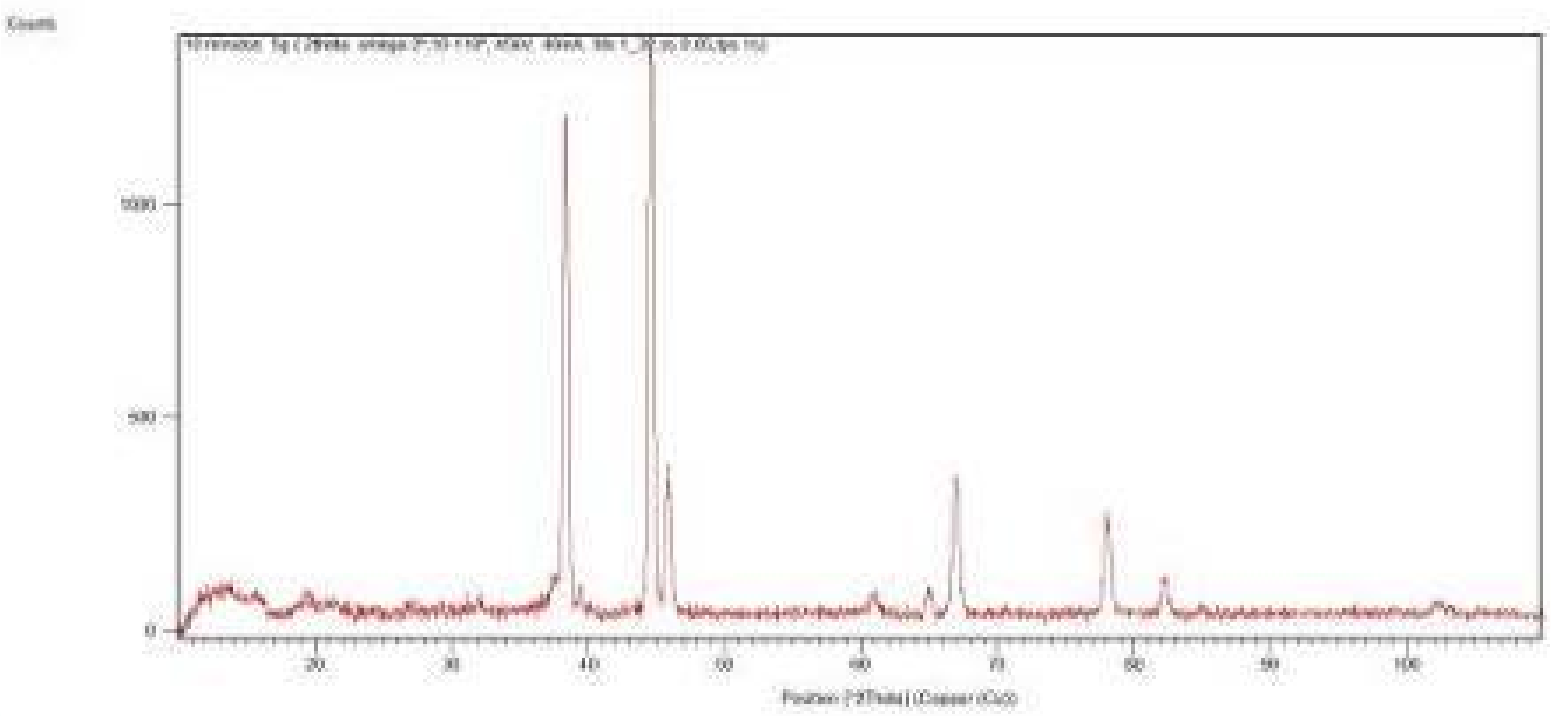
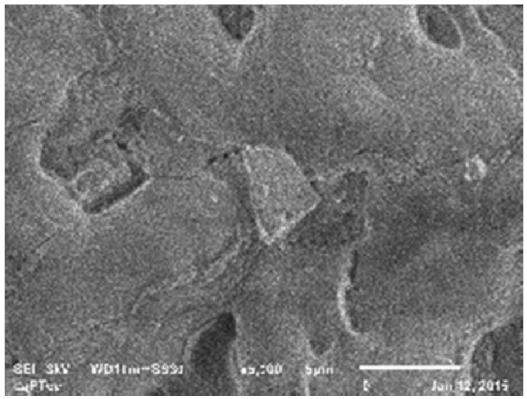


Figura 21: Espectro de difração de raios-X do revestimento obtido no Experimento 1.

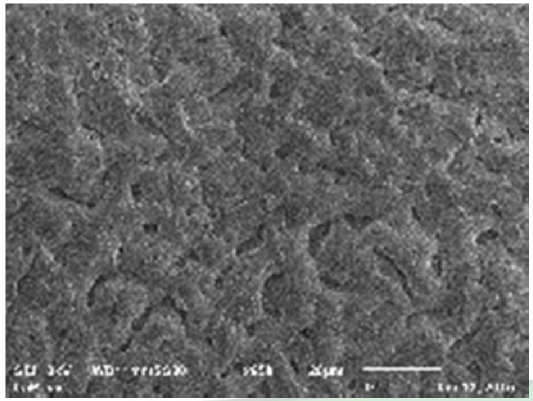
Resultados

- ***Experimento 2: 5g/L, 300Hz, 1200s***
- A Fig. 23, apresenta imagens do revestimento resultante do Experimento 2, vista por MEV.
- Pode-se observar o **aumento do tamanho dos poros** (Fig. 23A) que **quase chegam a 5 µm**, assim como o **aumento do número de poros** formados (Fig. 23B).
- Sendo assim o **aumento do tempo de deposição parece influenciar a morfologia** do revestimento obtido**.**

Figura 22: Revestimento Experimento 2.



(A)



(B)

Figura 23: Micrografias do Experimento 2 **(A)** Aumento de 5000x e **(B)** Aumento de 950x.

Resultados

- A análise por **EDS** permitiu identificar que houve incorporação do pó de exaustão pela presença de **titânio, ferro, magnésio, alumínio, silício, potássio e cálcio.**

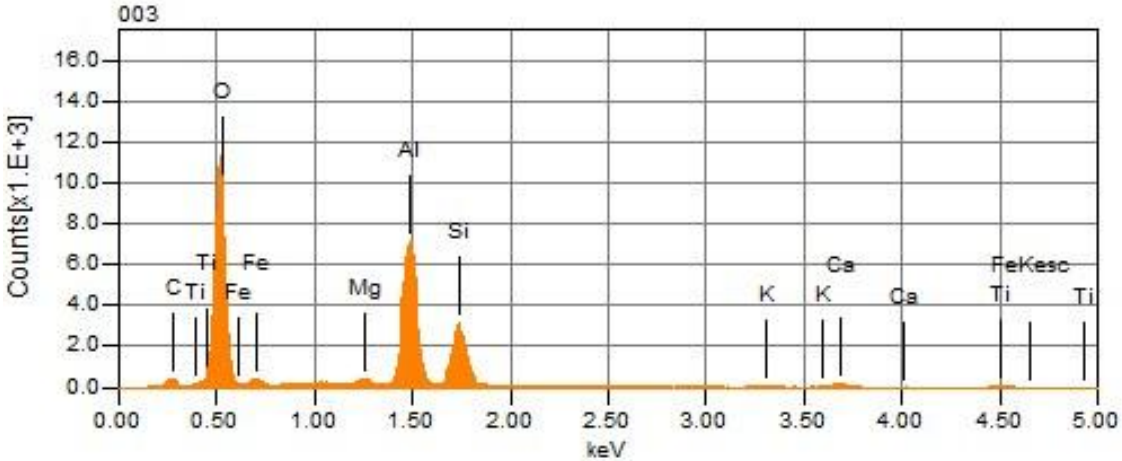


Figura 24: Análise elementar por EDS do Experimento 2.

- O **aumento do tempo** favorece na **incorporação dos elementos contidos na solução eletrolítica.**

Resultados

- A Fig. 25 apresenta o espectro de **DRX** da deposição do Experimento 2, onde são identificados os picos cristalinos correspondentes a **alumina e alumínio**, e podem estar presentes picos relacionados ao **silício**.

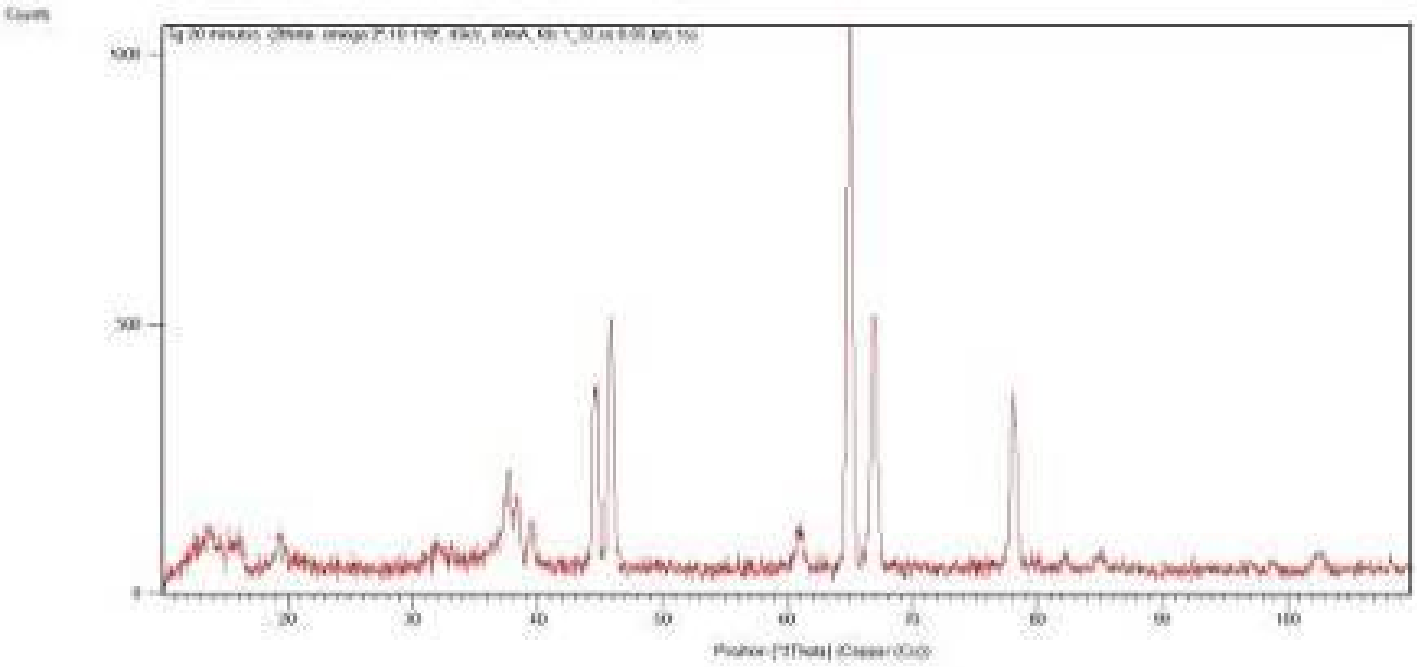


Figura 25: Espectro de difração de raios-X do revestimento do Experimento 2.

Resultados

- ***Experimento 3: 20g/L, 300Hz, 600s***

Figura 26: Revestimento resultante do Experimento 3.

- Observa-se que esta **deposição é diferente das obtidas anteriormente.**
- O **aumento da concentração** da solução eletrolítica provoca o **aparecimento de manchas**, tornando a deposição pouco uniforme, além de se observar **pouca aderência do revestimento ao substrato**.

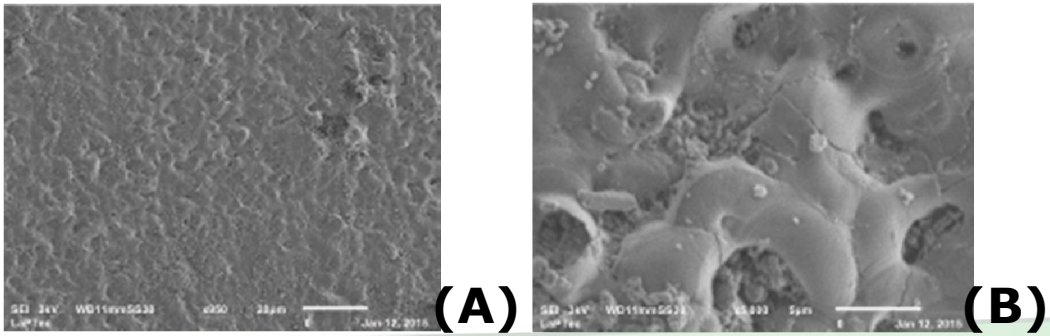


Figura 27: Micrografias do Experimento 3. **(A)** Aumento de 950x e **(B)** Aumento de 5000x.

A Fig. 27, mostra micrografias do revestimento obtido com o Experimento 3. Nota-se uma **diminuição das áreas em que se observa a coalescência do material** (Fig. 27A) e o **início do surgimento de rachaduras** (Fig. 27B).

Resultados

- A análise por **EDS** mostra que houve incorporação do pó de exaustão pela presença de **ferro, sódio, magnésio, alumínio e silício.**

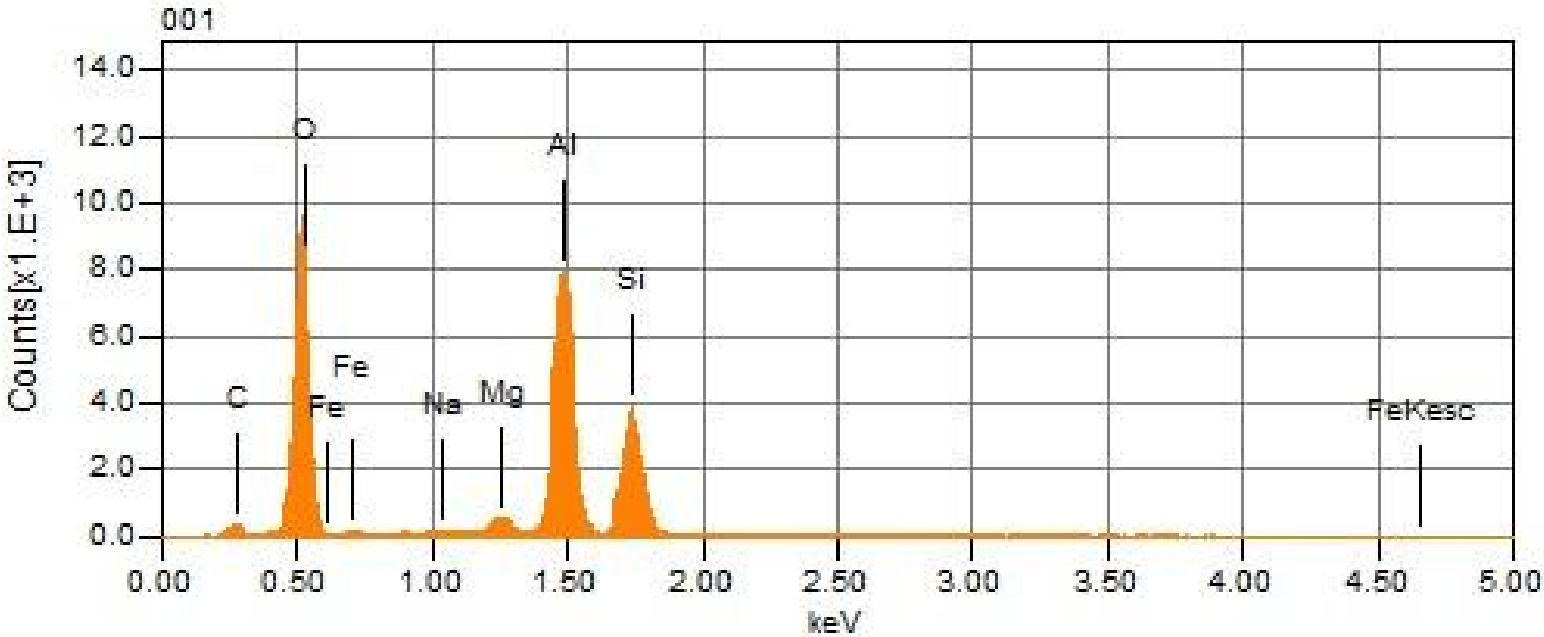


Figura 28: Análise elementar por EDS do Experimento 3.

- Os resultados de **DRX** são semelhantes ao obtido para a condição do experimento 1, com a identificação de picos cristalinos de **alumínio e alumina.**

Resultados

- ***Experimento 4: 20g/L, 300Hz, 1200s***

Figura 29: Revestimento resultante do Experimento 4.

- Observa-se também que esta **deposição é diferente das obtidas anteriormente.**

- Com o aumento da concentração e do tempo de deposição ocorre o **aparecimento de manchas em maior quantidade**, preenchendo totalmente a área da placa.

- A Fig. 30 mostra o revestimento obtido com o Experimento 4, visto por MEV.

- Observa-se que **não há áreas de coalescência** e ocorrem formação de **rachaduras** no revestimento, além de se observar uma **camada pouco uniforme.**

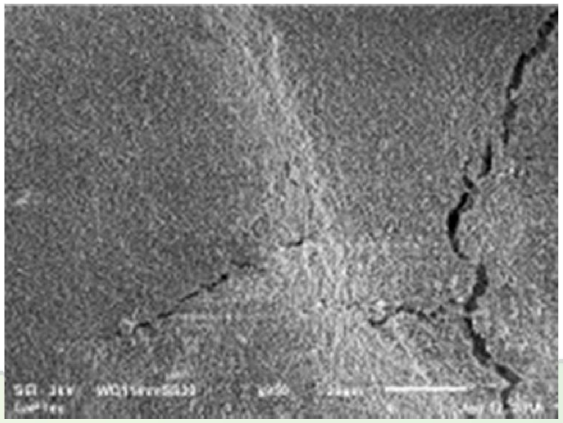


Figura 30: Micrografias do Experimento 4 com aumento de 950x.

Resultados

- A análise por **EDS** mostra que houve incorporação do pó de exaustão pela presença de **titânio, ferro, sódio, magnésio, alumínio, silício, potássio e cálcio.**

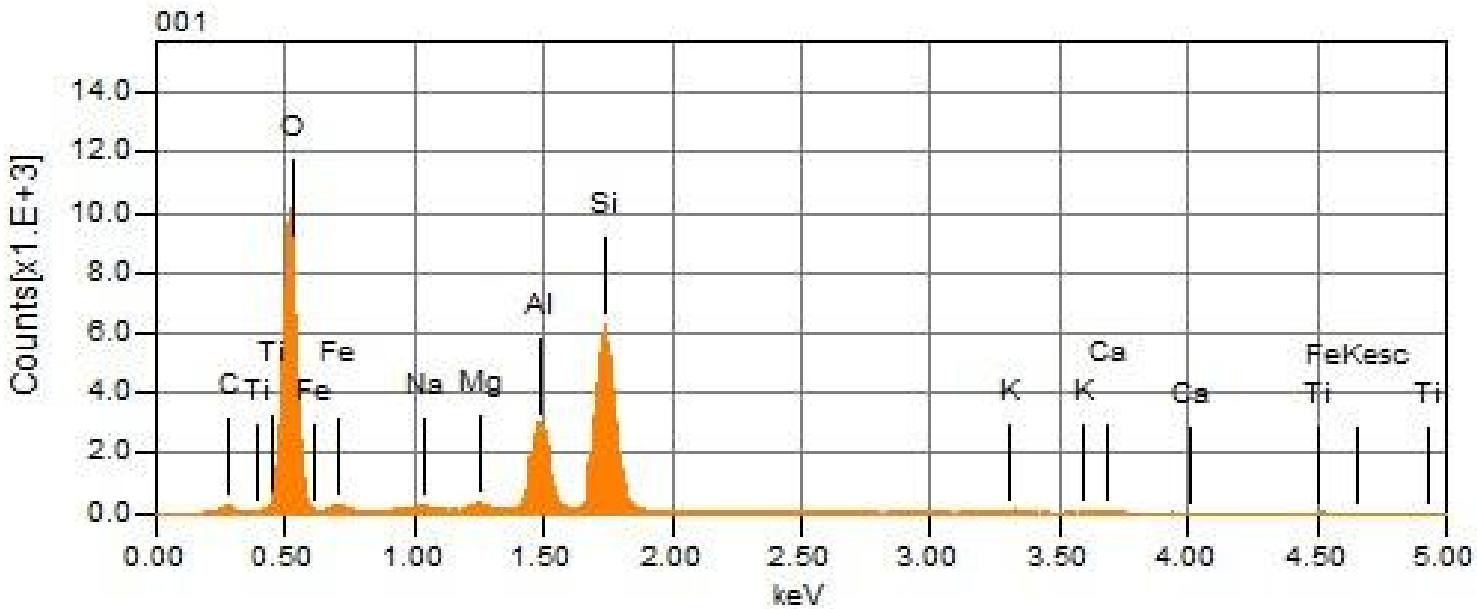


Figura 31: Análise elementar por EDS do Experimento 4.

Resultados

- Para o **DRX** do Experimento 4 (Fig. 32), observa-se que houve a diminuição da cristalinidade da amostra, **dificultando a identificação dos picos.**
- **Material Amorfo,** não apresentam forma geométrica definida, seus átomos não se encontram em organização espacial a nível microscópico.

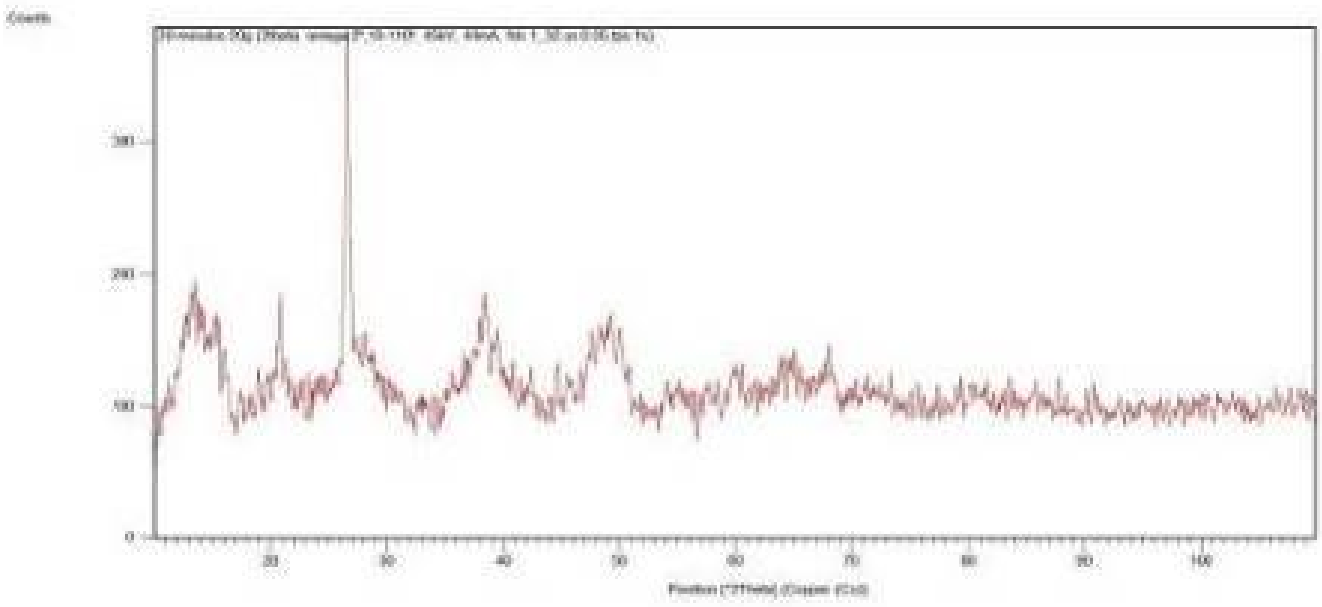


Figura 32: Espectro de difração de raios-X do revestimento do Experimento 4.

Resultados

Tabela 2. Teste de molhabilidade para cada experimento.

Experimento	Ângulo de contato com a água
1	87,78
2	63,88
3	69,36
4	Espalhamento total

- Todas as superfícies obtidas são hidrofílicas, pois apresentam um ângulo de contato inferior a 90º.

Conclusões

- O pó de exaustão é composto de partículas de diferentes formas e tamanhos.
- O uso do pó de exaustão na solução eletrolítica proporciona que se obtenha através do plasma eletrolítico, estruturas de coalescência que só ocorrem em altas temperaturas.
- Todas as superfícies obtidas são hidrofílicas.
- O aumento do tempo de deposição provoca a incorporação ao revestimento cerâmico de mais elementos químicos presentes no pó de exaustão, além de ocorrer o aumento do tamanho dos poros da superfície.
- O aumento da concentração da solução eletrolítica faz surgir rachaduras na superfície e revestimentos de menor aderência, indicando que estas podem não ser as melhores condições para se obter esses revestimentos.
- Os resultados deste trabalho mostram que o resíduo: pó de exaustão é viável para ser utilizado na produção de revestimentos cerâmicos em liga de alumínio, e as condições de deposição podem provocar a formação de revestimentos com características diferentes e assim proporcionar diferentes formas de aplicação para essas superfícies.

Referências

- ABM 2015 Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração. Disponível em:<www.abmbrasil.com.br>. Acessado em: Fevereiro/2015.
- Alabbasi, A. et al., 2013. Performance of pulsed constant current silicate-based PEO coating on pure magnesium insimulated body fluid. Materials Letters 106, 2013, p.18–21.
- Antônio, C. R., 2011. Deposição de filmes por plasma eletrolítico em ligas de alumínio. Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais (POSMAT). Sorocaba.
- BALDAM, R. L.; VIEIRA, E. A. Fundição – Processos e Tecnologias Correlatas. 1ª ed.São Paulo: Érica, 2013.
- Brandão, J. R.,2006. Análise de sistemas de valorização de resíduos via compostagem e reciclagem e sua aplicabilidade nos municípios mineiros de pequeno porte. Belo Horizonte.
- CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA. Disponível em:<http://www.cimm.com.br/portal/>. Acesso em 17 de maio de 2015.
- IMF Brasil Ltda. Recuperação Mecânica de Areia. Catálogos, 2002. Disponível em: <http://www.imfbr.com.br/site/index.php?option=com_content&view=article&id=30&Itemid=11>. Acesso em: 17 de maio de 2015.
- KLINSKY, L. M. G. Proposta de Reaproveitamento de Areia Fundição em Sub-bases e Bases de Pavimentos Flexíveis Através da sua Incorporação a Solos Argilosos. 185 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.
- MARIOTTO, C. L. Areias Aglomeradas com Argilas – Tecnologia Básica. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. Notas de Aula, 2005. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/111893703/Apostila-Completa>. Acesso em 17 de maio de 2015.
- MORO, N.; AURAS, A. P. Processos de Fabricação - Fundição. Santa Catarina: Centro Federal de Educação e Tecnológica de Santa Catarina, 2007. Disponível em:<http://www.norbertocefetsc.pro.br/fundicao.pdf>. Acesso em: 17demaio de 2015.
- Mucsi, S. C.,2014. Desenvolvimentos de tecnologia e dispositivo para a medição de torque de fixação de elementos roscados. 5º Congresso Científico da Semana Tecnológica – IFSP. 20-24 de outubro de 2014, Bragança Paulista, SP, Brasil.
- Pereira, H. R., 2014. Proposta de formulação de argamassa para assentamento e revestimentode paredes e tetos com incorporação de póde exaustão de fundição. Joinville/SC.
- Rossetto, T. S., 2010. Caracterização de areias descartadas de fundição com diferentesteores de bentonita. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em:< https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/124492/205.pdf?sequence=1>. Acessado em: Fevereiro/2015.
- SILVA, T. C. da. Comparativo entre os regulamentos existentes para reutilização de resíduos de fundição. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- Yerokhin, A. L. et al. Spatial characteristics of discharge phenomena in plasma electrolytic oxidation of aluminium alloy. Surface and Coatings Technology 177-178, 2004. p.779-783.

Agradecimento

- **Capes** Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
- **LMCMat** Laboratório Multiusuário de Caracterização de Materiais
- **LaPTec** Laboratório de Plasmas Tecnológicos
- **Fundição Tupy**

Obrigada!

Contato

carimesouza@outlook.com