



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
CURSO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

VIVIANNE RODRIGUES DE FREITAS

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS TEMPO E TEMPERATURA NA
FUNDIÇÃO DE ALUMÍNIO RECICLADO EM FORNO RESISTIVO A PARTIR DO
PLANEJAMENTO FATORIAL**

PAU DOS FERROS

2017

VIVIANNE RODRIGUES DE FREITAS

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS TEMPO E TEMPERATURA NA
FUNDIÇÃO DE ALUMÍNIO RECICLADO EM FORNO RESISTIVO A PARTIR DO
PLANEJAMENTO FATORIAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, campus Pau dos Ferros, como
requisito para obtenção do título de Bacharela
em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. José Flávio Timóteo
Junior.

Co-orientador: Prof. Dr. Cláwsio Rogério Cruz
de Sousa.

PAU DOS FERROS – RN

2017

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

F862a Freitas , Vivianne Rodrigues de.
Análise da influência dos parâmetros tempo e temperatura na fundição de alumínio reciclado em forno resistivo a partir do planejamento fatorial / Vivianne Rodrigues de Freitas . - 2017.
46 f. : il.

Orientador: José Flávio Timóteo Junior.
Coorientador: Cláwsio Rogério Cruz de Sousa.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e Tecnologia, 2017.

1. Alumínio. 2. Reciclagem. 3. Fundição. 4. Planejamento fatorial. I. Timóteo Junior, José Flávio , orient. II. Cruz de Sousa, Cláwsio Rogério , co-orient. III. Título.

VIVIANNE RODRIGUES DE FREITAS

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS TEMPO E TEMPERATURA NA
FUNDIÇÃO DE ALUMÍNIO RECICLADO EM FORNO RESISTIVO A PARTIR DO
PLANEJAMENTO FATORIAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, campus Pau dos Ferros, como
requisito para obtenção do título de Bacharela
em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 25 / 05 / 2 017.

BANCA EXAMINADORA

José Flávio Timóteo Junior

Prof. Dr. José Flávio Timóteo Junior. (UFERSA)
Presidente

Cláudio Rogério Cruz de Sousa

Prof. Dr. Cláudio Rogério Cruz de Sousa. (UFERSA)
Membro Examinador

Paula Romyne de Moraes Cavalcante

Ma. Paula Romyne de Moraes Cavalcante (UFRN)
Membro Examinador

A Rita Lucineide de Freitas Rodrigues, minha mãe (em memória), maior exemplo de amor que pude conhecer, que além de herança genética deixou-me ensinamentos que levarei para toda a vida.

A Geovânio Rodrigues Alves, meu pai, o maior responsável não só por minha formação acadêmica, mas por minha formação como ser humano. Quem me incentivou e apoiou em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo privilegio da vida, e por iluminar e abençoar meu caminho.

À minha família, principalmente ao meu pai Geovânio Rodrigues, minhas tias Jarina e Jadicleides, e aos meus irmãos, em especial Guilherme Freitas, por se preocuparem comigo e me incentivarem sempre que precisei.

Ao meu Orientador José Flávio, e Co-orientador Cláwsio Rogério pela dedicação que ambos tem na transmissão do conhecimento, e por mesmo diante dos imprevistos que surgiram terem oferecido o apoio necessário para solucioná-los.

A Paula Cavalcante, pelo conhecimento repassado e por toda disponibilidade e suporte nas realizações dos experimentos, que foi de fundamental importância para realização deste trabalho, o meu muito obrigada.

Ao técnico de laboratório Felipe Guimarães e à colega Francielle Almeida, que estiveram presentes durante uma parte da realização deste trabalho e se mostraram sempre dispostos a ajudar.

Às minhas amigas, Evânia, Géssica, Jamilly, Laura, Vitória, Letícia, Sabrina e em especial Milena Fernandes, pelas conversas e brigas diárias, e por todas as vezes em que estiveram do meu lado, vocês são as melhores!

A Paulo César, João Antônio, Layane, Vanerica, e todos os demais amigos da faculdade e da vida, por cada “vai dar certo” ditos ao longo dessa jornada.

À Henrique Fernandes Moreira, o melhor companheiro que eu poderia ter ganho da vida, a quem agradeço imensamente por estar comigo em todas as horas, me ouvir e entender.

Cada um de nós é, sob uma perspectiva cósmica, precioso. Se um humano discorda de você, deixe-o viver. Em cem bilhões de galáxias, você não vai achar outro.

Carl Sagan

RESUMO

Diante do aumento da utilização do alumínio como matéria prima na fabricação de embalagens, as tentativas de reaproveitamento desses tipos de laminados vem crescendo, e o aumento na geração de resíduos sólidos faz com que cada vez mais os processos de reciclagem deste material tenham relevância frente ao desenvolvimento sustentável. Um dos processos utilizados para reaproveitamento dos laminados provenientes de embalagens é o de fundição. Tal processo pode ser conseguido em inúmeros tipos de fornos. Nos fornos resistivos elétricos tipo mufla ele é realizado de forma simples, através da inserção dos valores de tempos, gradientes, rampas de aquecimento, e temperaturas no controlador digital do forno, entretanto como a variação dos parâmetros influencia o resultado do processo, ele pode acabar não atingindo o melhor resultado possível, neste trabalho foram analisados os parâmetros tempo e temperatura no processo de fundição do alumínio reciclado em fornos deste tipo. A modelagem da superfície de resposta e curva de contorno, bem como do gráfico de pareto utilizados para analisar as influencias desses parâmetros foi implementada pelo software Statistica, da Dell Inc. (2016), versão 13, tal análise aconteceu a partir do planejamento fatorial 2^2 , com os parâmetros analisados temperatura e tempo, sendo o primeiro a variável mais significativa para o processo de fundição.

Palavras-chave: Alumínio. Reciclagem. Fundição. Planejamento fatorial.

ABSTRACT

In view of the increased use of aluminum as raw material in the manufacture of packaging, the attempts of reutilization of these types of laminates has been growing and the increase in solid waste generation means that the recycling processes of this material are increasingly relevant to sustainable development. One of the processes used for the reuse of laminates from packaging is foundry. Such a process can be achieved in numerous types of furnaces. In muffle type electric resistive ovens it is carried out in a simple way, by inserting the values of times, gradients, heating ramps, and temperatures in the digital oven controller however as the variation of the parameters influences the result of the process, it may end up not reaching the best possible result, in this work the time and temperature parameters in the casting of recycled aluminum in furnaces of this type will be analyzed, the response surface modeling and contour curve, as well as the pareto graph used to analyze the influences of these parameters was implemented by Statistica software from Dell Inc. (2016), version 13, this analysis was based on the factorial design 2^2 , with the analyzed parameters temperature and time, the first being the most significant variable for the casting process.

Keywords: Aluminum. Recycling. Foundry. Factorial planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Forno Mufla	21
Figura 2 – Embalagens alimentícias.....	24
Figura 3 – Balança Analítica “Marte”, modelo AW220.	28
Figura 4 – Balança após procedimento de tara.....	28
Figura 5 – Pesagem do cadinho.....	28
Figura 6 – Pesagem do alumínio	28
Figura 7 – Material que foi levado ao forno para realização do experimento 2.....	28
Figura 8 – Material utilizado no Teste 1	31
Figura 9 – Resultado do Teste 1	31
Figura 10 – Resultado do Teste 2	33
Figura 11 – Resultado do Teste 2 misturado	33
Figura 12 – Resultado do Teste 2, material fundido	33
Figura 13 – Resultado do Teste 3	34
Figura 14 – Resultado do Teste 4	35
Figura 15 – Material fundido no Teste 4.....	35
Figura 16 – Resultado do primeiro experimento no ponto central.....	37
Figura 17 – Material fundido no primeiro experimento no ponto central.....	37
Figura 18 – Resultado do segundo experimento no ponto central	37
Figura 19 – Material fundido no segundo experimento no ponto central	37
Figura 20 – Resultado do primeiro experimento no ponto central.....	37
Figura 21 – Resultado do terceiro experimento no ponto central	37

Figura 22 – Interface de areia no cadinho cerâmico.....	38
Figura 23 – Estimativa dos efeitos das variáveis temperatura (1) e tempo (2) na fundição de alumínio em fornos resistivos.....	40
Figura 24 – Superfície de resposta na determinação da porcentagem de fundição de alumínio em fornos resistivos.....	41
Figura 25 – Curva de contorno da porcentagem de fundição de alumínio.....	41

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva de temperatura do teste 1, temperatura máxima de 700°C com tempo de permanência de 10 minutos.	31
Gráfico 2 – Curva de temperatura do teste 2, temperatura máxima de 700°C com tempo de permanência de 30 minutos.	32
Gráfico 3 – Curva de temperatura do teste 3, temperatura máxima de 900°C com tempo de permanência de 10 minutos.	34
Gráfico 4 – Curva de temperatura do teste 4, temperatura máxima de 900°C com tempo de permanência de 30 minutos.	35
Gráfico 5 – Curva de temperatura dos testes 5, 6 e 7, temperatura máxima de 800°C com tempo de permanência de 20 minutos.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Condições preestabelecidas das variáveis independentes como nível superior (+), nível inferior (-) e nível intermediário (0).	25
Tabela 2 – Atributos dos experimentos	26
Tabela 3 – Resultados do percentual de fundição (%F) para as condições diversas de tempo e temperatura	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS.....	17
1.1.1 Objetivo Geral.....	17
1.1.2 Objetivos Específicos	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 RECICLAGEM DO ALUMÍNIO	18
2.1.1 Reciclagem das laminas/placas de alumínio	18
2.2 O ALUMÍNIO (Al)	18
2.3 OBTENÇÃO DO ALUMÍNIO	19
2.4 CARACTERÍSTICAS DO ALUMÍNIO.....	19
2.5 FORNO ELÉTRICO TIPO MUFLA	20
2.6 TRATAMENTO ESTATÍSTICO	21
2.6.1 Programa Statistica.....	21
2.6.2 Planejamento Experimental.....	22
2.6.3 Planejamento Fatorial	22
2.7 FATORES DE CONTROLE.....	22
2.8 PLANEJAMENTO FATORIAL 2K.....	22
3 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	24
3.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	24
3.2 NÚMERO DE TESTES	24
3.3 ESCOLHA DOS NÍVEIS DE TEMPERATURA E TEMPO.....	25
3.4 CONSTRUÇÃO DE GRÁFICOS DE CURVA DE TEMPERATURA.....	26
3.5 ANALISES NAS AMOSTRAS	27
3.5.1 Pesagem.....	27
3.5.2 Análise de dados	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 TESTE DE NÚMERO 1 (700°C, 10 MINUTOS)	30
4.2 TESTE DE NÚMERO 2 (700°C, 30 MINUTOS)	32
4.3 TESTE DE NÚMERO 3 (900°C, 10 MINUTOS)	33
4.4 TESTE DE NÚMERO 4 (900°C, 30 MINUTOS)	35
4.5 TESTES DE NÚMEROS 5, 6 E 7, DE PONTO CENTRAL (800°C, 20 MINUTOS)	36
4.6 INTERFACE DE AREIA	38

4.7 RESULTADOS DO PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL FATORIAL E	
ANÁLISE DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA.....	38
4.8 ERROS EXPERIMENTAIS	42
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

As novas tecnologias e o ritmo da vida moderna tem nos condicionado ao aumento na produção de resíduos sólidos, um lixo que na maioria das vezes é formado por componentes difíceis de serem degradarem, a utilização do elemento alumínio (Al) como matéria prima na fabricação de embalagens por exemplo, vem crescendo em todo país, e isso além de acabar resultando no aumento dos resíduos sólidos propriamente ditos desencadeia um impacto ambiental, tornando relevante a reciclagem deste tipo de material. (VALENTIM, 2011)

Segundo a Associação Brasileira de Alumínio ABAL (2017) o alumínio é um dos materiais recicláveis mais valiosos. Folhas e laminados, vêm sendo consumidos pelo mercado em escala crescente, utilizados em embalagens de produtos farmacêuticos, de limpeza, higiene e cosméticos, bebidas e em produtos alimentícios, apresentam maiores dificuldades para a reciclagem, possuem menores espessuras do que as latas e apresentam níveis de contaminação variados (OLIVEIRA, 2011).

Na tentativa de reaproveitar os laminados citados anteriormente uma alternativa é o processo de fundição, que segundo Salonitis et al. (2016) é um dos processos de fabricação mais antigos, mais desafiadores e intensivos em energia. Entretanto, a fundição não encontra paralelo com outros processos de conformação pelo fato de que, em muitos casos, é o método mais simples e econômico e, em outros, o único método tecnicamente viável de se obter uma determinada forma sólida (KONDIC, 1973)

Em geral, na realização de um processo de fundição em fornos elétricos é necessário que as amostras sejam submetidas a uma temperatura acima do seu ponto de fusão, no caso do alumínio essa temperatura é de 660°C, contudo apesar da fácil utilização do forno elétrico, a determinação e controle de variáveis como tempo (t) e temperatura (T), que fazem parte do processo, é de fundamental importância para que o sucesso no processo de fundição seja obtido, visto que a qualidade e a quantidade do material fundido no fim do processo pode variar juntamente com os parâmetros envolvidos durante o mesmo.

Desta forma, pretende-se aqui utilizar a técnica de planejamento fatorial de segunda ordem para estudar a influência das variáveis tempo e temperatura máxima, no processo de fundição em fornos elétricos, dos materiais metálicos provenientes de embalagens que vem sendo descartados de maneira inadequada, e obter a partir de análises experimentais resultados importantes sugiram as melhores condições para que o processo de fundição venha a ser satisfatório.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

- Analisar a eficiência da fundição do alumínio em forno resistivo de acordo com os parâmetros tempo e temperatura máxima, e a sua influência no processo de fundição.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Coletar alumínio de embalagens e lacres de lixo residencial para servir de matéria-prima de fundição.
- Utilizar o processo de fundição do alumínio no forno elétrico tipo mufla em tempos e temperaturas distintas.
- Sugerir as melhores condições para que o processo de fundição seja satisfatório nos fornos elétricos tipo mufla.
- Utilizar um planejamento experimental como forma de obter resultados precisos de forma simplificada.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 RECICLAGEM DO ALUMÍNIO

Produtos à base de alumínio (Al) são ideais para reciclagem devido ao baixo custo no seu reaproveitamento comparado a obtenção dele por um novo processo a partir do minério de bauxita, além de preservar a extração da matéria prima.

A cada quilo de alumínio reciclado, cinco quilos de bauxita (minério de onde se produz o alumínio) são poupados. Para se reciclar uma tonelada de alumínio, gasta-se somente 5% da energia que seria necessária para se produzir a mesma quantidade de alumínio primário, ou seja, a reciclagem do alumínio proporciona uma economia de 95% de energia elétrica. Para se ter uma ideia, a reciclagem de uma única latinha de alumínio economiza suficiente energia para manter um aparelho de TV ligado durante três horas. O processo de reciclagem do alumínio é muito importante para o Desenvolvimento Sustentável (DS) , pois o processamento da matéria-prima alumínio utiliza grandes quantidades de energia. A cada tonelada de alumínio extraído desperdiça-se cerca de quatro toneladas de material mineral (bauxita). (COSTA; PIRES, 2007)

2.1.1 Reciclagem das laminas/placas de alumínio

A vida útil de muitos produtos de alumínio é longa, o que diminui a sua presença nos descartes urbanos e industriais. No entanto, materiais como folhas de alumínio, também muito empregadas no setor de embalagens, são difíceis de serem recicladas. Folhas de alumínio possuem menores espessuras do que as latas e apresentam níveis de contaminação variados. (VALENTIM; OLIVEIRA, 2011)

2.2 O ALUMÍNIO (Al)

O alumínio, apesar de ser o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre é o metal mais jovem usado em escala industrial. Mesmo utilizado há milênios antes de Cristo, o alumínio começou a ser produzido comercialmente há cerca de 150 anos. Hoje, por suas excelentes propriedades físico-químicas – entre as quais se destacam o baixo peso específico, a resistência à corrosão, a alta condutibilidade térmica e elétrica e a infinita reciclagem – apresenta uma ampla variedade de utilização, que o torna o metal não ferroso mais consumido no mundo. (ABAL, 2007)

2.3 OBTENÇÃO DO ALUMÍNIO

A obtenção do alumínio a partir da bauxita efetua-se em três etapas: Mineração, Refinaria e Redução. A bauxita é extraída, lavada e secada antes de ser enviada à Refinaria onde se produz o alumínio. (ABAL, 2007)

2.4 CARACTERÍSTICAS DO ALUMÍNIO

Segundo a Abal (2007, p.11-14) o alumínio apresenta as seguintes características:

- **Ponto de fusão:** Alumínio possui ponto de fusão de 660°C (quando na pureza de 99,80%), várias ligas possuem ponto de fusão abaixo deste. O metal puro e muitas das ligas perdem um pouco da sua resistência mecânica, ficando sujeitas a uma lenta deformação plástica conhecida como fluência, se permanecer sob tensão por longos períodos em temperaturas acima de 200°C;
- **Peso específico:** A leveza é uma das principais características do alumínio. Seu peso específico é de cerca de 2,70 g/cm³, aproximadamente 35% do peso do aço e 30% do peso do cobre;
- **Características mecânicas:** O alumínio comercialmente puro tem uma resistência à tração de aproximadamente 90 MPa; é possível obter uma grande variedade de características mecânicas ou tratamento térmico, como a têmpera em ligas de alumínio, através das várias combinações de trabalho a frio e de tratamento térmico;
- **Resistência à corrosão:** Quando o alumínio é exposto à atmosfera, forma-se imediatamente uma fina e invisível camada de óxido de alumínio (Al_2O_3), a qual protege o metal de oxidações posteriores. Essa característica de autoproteção dá ao alumínio uma elevada resistência à corrosão;
- **Coeficiente de dilatação térmica:** O alumínio puro possui um coeficiente de dilatação térmica linear de 0,0000238 mm/°C, na faixa de 20°C a 100°C;
- **Condutibilidade elétrica:** O alumínio puro possui resistividade de 0,00000263 ohm/cm³ e condutividade elétrica de 62% do IACS (International Annealed Copper Standard - Padrão Internacional do Cobre Recozido), a qual associada à sua baixa densidade significa que um condutor de alumínio pode conduzir tanta

corrente quanto um condutor de cobre que é duas vezes mais pesado e proporcionalmente mais caro;

- **Condutibilidade térmica:** Essa característica é um importante meio de transferência de energia térmica, tanto no aquecimento, como no resfriamento;
- **Refletividade:** O alumínio tem uma refletividade acima de 80%;
- **Propriedade anti-magnética:** O metal não é magnético;
- **Característica de barreira:** O alumínio é um importante elemento de barreira à luz, é também impermeável à ação da umidade e do oxigênio, tornando a folha de alumínio um dos materiais mais versáteis no mercado de embalagens;
- **Característica nuclear:** Uma propriedade de importância em engenharia nuclear é sua baixa absorção de nêutrons, de maneira que ele não impede significativamente a passagem de nêutrons, os quais mantêm a reação nuclear no combustível de urânio, tornando-o um material eficiente e de uso intensivo no núcleo dos reatores de baixa temperatura;
- **Atoxicidade:** O fato do alumínio possuir características “não-tóxicas” permite sua utilização em utensílios domésticos, sem qualquer efeito nocivo ao organismo humano;
- **Reciclagem:** A característica de ser infinitamente reciclável, sem perda de suas propriedades físico-químicas, torna o alumínio o metal de escolha, principalmente em embalagens para bebidas carbonatadas.

2.5 FORNO ELÉTRICO TIPO MUFLA

Tratam-se fornos que como citado por Brasilino (2016) são utilizados na calcinação de substâncias, por aquecimento em altas temperaturas, em torno de 1.000°C ou 1.500°C.

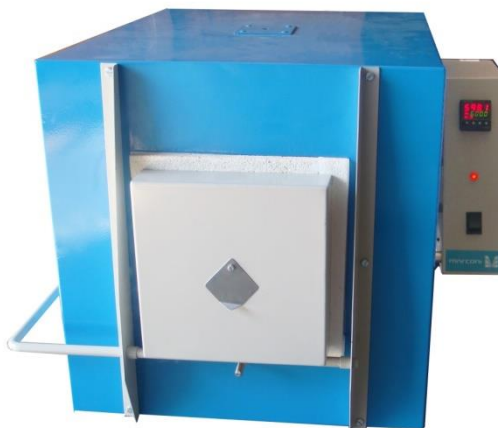
Um forno de mufla possui câmaras para aquecimento e combustão separadas, o que significa que as cinzas, gases e resíduos provenientes da combustão não contaminam o material que está em aquecimento. (PROLAB, 2014)

Desta forma, Prolab (2014) afirma que esse equipamento é muito utilizado em pesquisas científicas diversas, visto que esse equipamento proporciona aos pesquisadores e cientistas a possibilidade de estudar o aquecimento de diversos materiais sem que nesse processo sejam incluídos os resíduos decorrentes da combustão.

Outra importância ligada a tais fornos está em sua capacidade de manutenção de temperaturas altas por períodos de tempo mais longos, possibilitando um maior entendimento do objeto de estudo.

A figura 1, mostra o forno deste tipo que foi utilizado nas atividades de fundição.

Figura 1 - Forno Mufla



Fonte: <https://goo.gl/8ME7h2>

2.6 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Anjos (2009) define tratamento como sendo uma condição imposta ou objeto que se deseja medir ou avaliar em um experimento.

Os tratamentos são chamados de variáveis independentes. Quando, em um experimento, estamos interessados em estudar apenas um tipo de variável independente, dizemos que possuímos apenas um fator. Em um experimento, um fator pode ter várias categoriais que são chamadas de níveis.

2.6.1 Programa Statistica

O *software* STATISTICA® é um programa integrado para gerenciar Análise Estatística e Bases de Dados, caracterizando uma ampla seleção do processo analítico, do básico ao avançado, para as mais diversas áreas – Ciências Biomédicas, Biológicas, Engenharias,

Ciências Sociais, Agrárias - permitindo a realização de *Data Mining* (Mineração de Dados). (OGLIARI; PACHECO, 2011)

2.6.2 Planejamento Experimental

Segundo Trindade (2009) o planejamento experimental é uma ferramenta essencial tanto no desenvolvimento de novos processos como no aprimoramento de processos em utilização. Desta forma, se um planejamento for feito de forma adequada ele permitirá a redução da variabilidade de resultados, a redução de tempos de análises e também a redução dos custos envolvidos.

2.6.3 Planejamento Fatorial

Planejamento fatorial é um tipo de planejamento experimental que é de grande utilização em investigações preliminares quando se deseja saber se determinados fatores têm ou não influência sobre a resposta desejada, sem a preocupação com uma descrição rigorosa dessa influência (TRINDADE, 2009)

2.7 FATORES DE CONTROLE

Galdámez (2002) define estes fatores como os que são alterados deliberadamente no experimento. Visto que o objetivo principal de introduzir estímulos nos fatores de controle é avaliar o efeito produzido nas variáveis de resposta e, com isso poder determinar os principais fatores do processo. Juran et al. (1951) fazem a divisão dos fatores de controle em quantitativos (pressão de injeção, temperatura, velocidade, etc.) e qualitativos (diferentes máquinas, operadores, liga/desliga, etc.). Em experimentos os fatores podem ser representados por números arábicos (1, 2, 3...) ou por letras (A, B, C...).

2.8 PLANEJAMENTO FATORIAL 2^k

É dito em Juran et al. (1951), que um experimento fatorial com k fatores, e cada um deles com dois níveis, é dito experimento fatorial 2^k . O processo experimental desta técnica

consiste na realização de testes com cada uma das combinações da matriz experimental, para logo após, determinar e interpretar os efeitos principais e de interação dos fatores investigados, assim, é possível identificar as melhores condições experimentais do produto ou processo de fabricação.

Galdámez (2002) expõe ainda que as principais vantagens da técnica fatorial 2^k é que através da análise dos experimentos é possível indicar as principais tendências e determinar uma direção promissora para as seguintes experimentações.

Não se conseguiu encontrar na literatura pesquisada trabalhos que tenham realizado estudos dos parâmetros tempo e temperatura no processo de fundição do Alumínio.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Neste trabalho foi realizado um planejamento experimental fatorial, tendo como objetivo analisar os fatores que influenciam o processo de fundição em fornos resistivos. Os parâmetros analisados no planejamento fatorial 2^k , e nos testes de ponto central foram os de tempo e temperatura, para que pudéssemos estudar os efeitos desses fatores sobre o resultado do percentual de material fundido do alumínio reciclado a partir das embalagens descartadas, visto que esta era resposta obtida em cada teste realizado.

3.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras utilizadas nas fundições eram provenientes de embalagens alimentícias (coletadas em domicílios). Inicialmente elas foram submetidas à limpeza feita com acetona para remoção de possíveis contaminantes e ficaram conforme a figura 2.

Figura 2 - Embalagens alimentícias



Fonte: Autora, 2017

As etapas de limpeza e separação foram realizadas, com isso deu-se o procedimento de corte das amostras em dimensões de aproximadamente 2x2cm, para facilitar a troca térmica entre o forno e a superfície do material e aumentar a reatividade química do processo.

3.2 NÚMERO DE TESTES

Em um experimento fatorial com 2 níveis o número de corridas (ou testes) que devem ser realizados é 2^k , onde k é o número de fatores (JURAN et al., 1951), uma vez que tínhamos 2 fatores (tempo e temperatura) para serem analisados passou-se a utilizar um

esboço fatorial 2^2 com 2 variáveis independentes (Tabela 1), assim a execução do experimento fatorial possuía quatro corridas. Foram realizadas ainda 3 corridas ponto central, que permitem obter uma estimativa interna do erro puro experimental (ACTION, 2017). Uma corrida é uma condição experimental, ou combinação de níveis e fatores nas quais as repostas são medidas, e cada uma delas corresponde a um ponto do experimento, seu conjunto completo, somado aos testes de ponto central, são o experimento.

O planejamento experimental com os valores reais e codificados será apresentado na tabela 2 do tópico 3.3.

Tabela 1 - Condições preestabelecidas das variáveis independentes como nível superior (+), nível inferior (-) e nível intermediário (0).

Variáveis	-1	0	+1
Temperatura (°C)	700	800	900
Tempo (minutos)	10	20	30

Fonte: Autora, 2017

3.3 ESCOLHA DOS NÍVEIS DE TEMPERATURA E TEMPO

A escolha para realização dos experimentos nos níveis de temperatura 700°C e 900°C, e dos tempos de 10 minutos e 30 minutos, foi realizada como sendo parte da primeira etapa do planejamento fatorial, as temperaturas escolhidas estão acima da temperatura de fusão do alumínio e os tempos variam de 10 a 30 minutos para que possa ser analisado o efeito conjunto dos parâmetros.

Para cada experimento foram feitas as variações nas temperaturas e tempo com uma taxa de aquecimento constante de 8°C/min.

O primeiro experimento foi realizado de modo que a temperatura máxima atingisse 700°C e permanecesse nesse nível por 10 minutos, outro experimento foi feito chegando a essa mesma temperatura de 700°C, entretanto permanecendo 30 minutos nela. Outros 2 experimentos foram feitos de forma análoga aos 2 primeiros com mudança apenas na temperatura máxima atingida, que nos experimentos 3 e 4 chegaram a 900°C. Além desses foram realizados mais 3 experimentos de ponto central (C), que chegaram a 800°C de temperatura máxima e permaneceram neste tempo por 20 minutos. O planejamento

experimental com os 7 testes realizados é exibidos na tabela 2 a seguir, com os valores reais de temperatura máxima atingida e tempo de permanência bem como seus valores codificados.

Tabela 2 - Atributos dos experimentos

Nº do Teste	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura (Variável codificada)	Tempo (min.)	Tempo (Variável codificada)
1	700	-1	10	-1
2	700	-1	30	1
3	900	1	10	-1
4	900	1	30	1
5 (C)	800	0	20	0
6 (C)	800	0	20	0
7 (C)	800	0	20	0

Fonte: Autora

O valor de -1 representa os pontos em que cada fator assume valor mínimo (700°C e 10 min.), e o valor de 1 representa o valor máximo para os fatores (900 °C e 30min.). Cada teste é caracterizado por uma combinação diferente, com exceção dos de ponto central, indicadas com (C) na coluna referente ao número do teste, que são representados pela variável codificada 0 e representa os valores 800°C e 20 min.

3.4 CONSTRUÇÃO DE GRÁFICOS DE CURVA DE TEMPERATURA

De acordo com a realização dos ensaios foram consideradas algumas informações afim de que se fosse possível construir uma curva de temperatura diferente para cada corrida em que a combinação dos fatores variasse.

Para tal, a primeira informação observada foi a de temperatura inicial de operação do forno, e em seguida sabendo à que taxa a temperatura subia por minuto, foi possível prever em quanto tempo o forno chegaria na temperatura do primeiro patamar estabelecido. Em todos os casos a rampa de aquecimento foi equivalente a 8 °C/min e o primeiro patamar estabelecido foi de 300°C, permanecendo nele por 30 minutos antes de começar a subir novamente até a temperatura máxima desejada, após chegar na temperatura máxima desejada

deixava-se a amostra no tempo pré-estabelecido. Ao final, a temperatura voltava a cair até chegar a temperatura ambiente, com uma taxa de resfriamento de 0,6 °C/min. Com esses dados facilmente se constroem os gráficos de curva de temperatura. E se obtém uma ideia de quanto tempo o mesmo ficou em operação até a amostra ser retirada.

3.5 ANALISES NAS AMOSTRAS

3.5.1 Pesagem

Antes da realização das fundições eram feitas as pesagens das amostras conforme os seguintes passos:

1. A balança analítica utilizada (figura 3) era submetida à calibração sempre antes da primeira pesagem do dia (figura 4);
2. Como recomenda Miranda (2012), antes de se iniciar o procedimento de pesagem o recipiente era inserido na balança para registrar seu peso isoladamente. Tal recipiente era composto pelo cadinho e por uma interface de areia, anotava-se o peso;
3. Em seguida, com o recipiente (cadinho com interface de areia) dentro da balança (figura 5), tarava-se a mesma novamente, para que fosse medido apenas o peso correspondente ao alumínio. Na figura 6 observamos o resultado da medição de pesagem do alumínio que foi fundido no experimento 2, onde o alumínio iria permanecer por 30 minutos em 700°C;
4. Em seguida retira-se todo o material, tarava-se mais uma vez a balança e o conjunto total era pesado, conforme é mostrado na figura 7, composto pelo recipiente e pelo alumínio.
5. A pesagem dos 7 experimentos foi feita de maneira análoga, seguindo os passos que acabaram de ser descritos.

Figura 3 - Balança Analítica “Marte”, modelo AW220.



Fonte: Autora, 2017

Figura 4 - Balança antes da pesagem



Fonte: Autora, 2017

Figura 5 - Pesagem do cadinho



Fonte: Autora, 2017

Figura 6 - Pesagem do alumínio



Fonte: Autora, 2017

Figura 7 - Material que foi levado ao forno para realização do experimento 2



Fonte: Autora, 2017

Em todos os experimentos, depois da realização das queimas no forno eram realizadas novas pesagens para se obter o peso final do recipiente e alumínio, de modo a verificar a sua variação com relação ao peso inicial, uma outra pesagem apenas do material fundido em cada teste foi feita.

3.5.2 Analise de dados

Os dados das variáveis codificadas do quadro 1, mostradas anteriormente, foram levados para o software Statistica, juntamente com o resultado obtido em cada teste para que se analisassem as influências dos parâmetros em estudo. Eles foram analisados de acordo com o modelo de fatorial 2^2 , com duas variáveis.

A resposta do experimento, dada de forma percentual foi obtida a partir da equação 1 abaixo.

$$\%F = \frac{\text{Amostra fundida (g)} \times 100}{\text{Amostra inicial(g)}} \quad (1)$$

Onde %F é percentual de fundição para cada teste, e amostra fundida e inicial é dada em gramas.

Para entender melhor os efeitos dessas variáveis no experimento será utilizado o Diagrama de Pareto, que conforme é dito por Barbosa (2009) examina a sensibilidade dos parâmetros estudados sobre a resposta de interesse. Assim, é possível indicar quais os parâmetros e interações têm influências significativas sobre a variável resposta considerada, que aqui se trata do percentual de fundição obtido em cada teste do experimento.

Para a análise os parâmetros ou fatores envolvidos no processo foi utilizada a metodologia de superfícies de respostas, esta, como exposto em Barbosa (2009), é uma técnica baseada em planejamentos fatoriais, em que a modelagem ajusta modelos simples às respostas obtidas no planejamento. Gráficos de Superfície de Resposta são úteis para a análise de problemas onde a resposta é influenciada por várias variáveis e o objetivo é a otimização da resposta.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta parte do trabalho irão ser apresentados os resultados obtidos dos testes definidos nos quadro 1 do item 3.3 onde foram indicados os níveis de temperatura e tempo em que o forno trabalhou, configurando um total de 7 testes, sendo os 4 primeiros feitos com corridas de combinações distintas e os 3 últimos de corridas de ponto central, onde a temperatura e tempo estabelecido foi o mesmo.

A temperatura inicial de operação do forno, rampa de aquecimento, tempo de permanência na rampa, temperatura máxima, tempo na temperatura máxima, e temperatura final permite fornecer os gráficos de curva de temperatura para os 7 experimentos que foram realizados em laboratório, todos são semelhantes e serão mostrados no decorrer do presente trabalho.

Iráo ser apresentadas também, de acordo com os resultados do material fundido, as análises feitas com auxílio do software Statistica. E em seguida após serem feitas as discussões necessárias iráo ser sugeridas as melhores condições referentes aos parâmetros de tempo e temperatura, para que o processo de fundição seja satisfatório nos fornos elétricos tipo mufla.

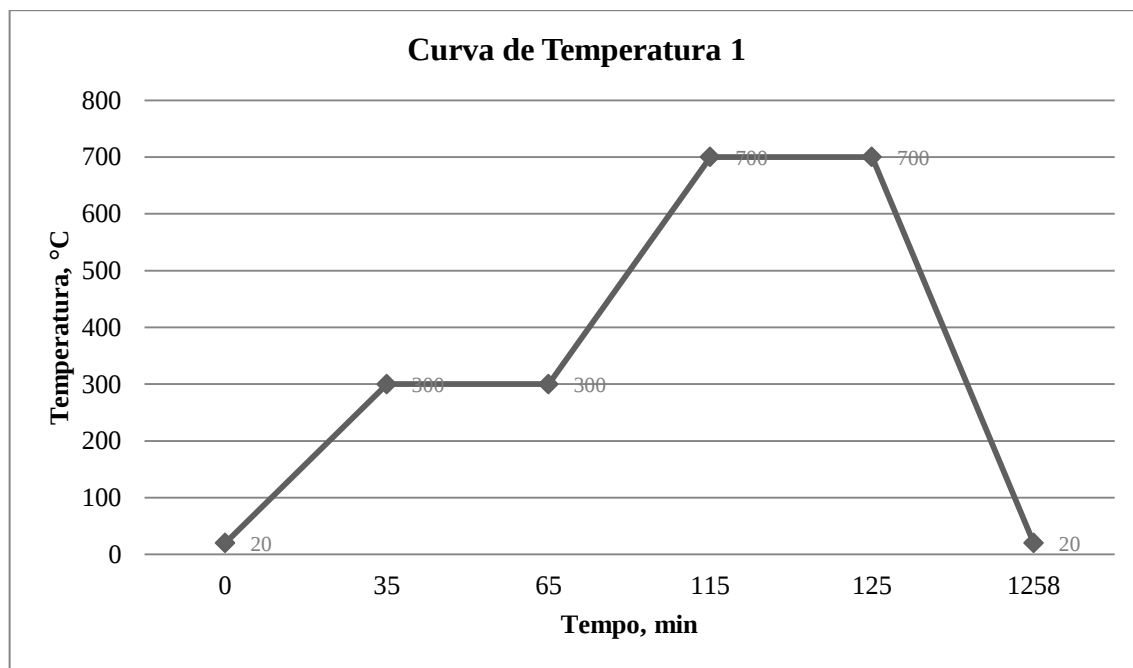
4.1 TESTE DE NÚMERO 1 (700°C, 10 MINUTOS)

O primeiro experimento a ser realizado aconteceu com o parâmetro de temperatura máxima correspondendo a 700°C e tempo de permanência nessa temperatura de 10 minutos.

A seguir teremos o gráfico 1 para o teste 1, a temperatura indicada inicialmente no mostrador do forno foi de 20°C, submetido a taxa de aquecimento 8 °C/min, o forno chegou aos 300°C num tempo de 35 minutos, marcado em cronômetro, a temperatura no forno foi mantida nesse patamar por 30 minutos e após esse período iniciou-se um novo aquecimento até alcançar em aproximadamente 50 minutos os 700°C. Isso ocorreu depois de decorridos aproximadamente 115 minutos. A temperatura se manteve nos 700°C por 10 minutos e então se iniciou o processo de redução da temperatura, sendo a taxa de resfriamento equivalente a aproximadamente 0,6 °C/min, após 1133 minutos o forno se encontrava em 20°C e foi feita a retirada do material do forno mufla. O processo completo, do aquecimento inicial ao

resfriamento durou aproximadamente 20,97h. A figura 8, mostra como estava o material que foi levado ao forno neste teste, e a figura 9 exhibe como ficou a amostra após o processo.

Gráfico 1 - Curva de temperatura do teste 1, temperatura máxima de 700°C com tempo de permanência de 10 minutos.



Fonte: Autora, 2017

Figura 8 - Material utilizado no Teste 1



Fonte: Autora, 2017

Figura 9 - Resultado do Teste 1



Fonte: Autora, 2017

Pela figura 9, nota-se a diferença da superfície com relação ao que foi colocado, Teixeira (2015) chama a atenção para o fato de que o alumínio não se encontra em seu estado natural nas embalagens e lacres, assim, essa camada superficial mais fina, é proveniente de uma camada de resina que é usada para protegê-lo dos agressores, isso mostra que apesar de a

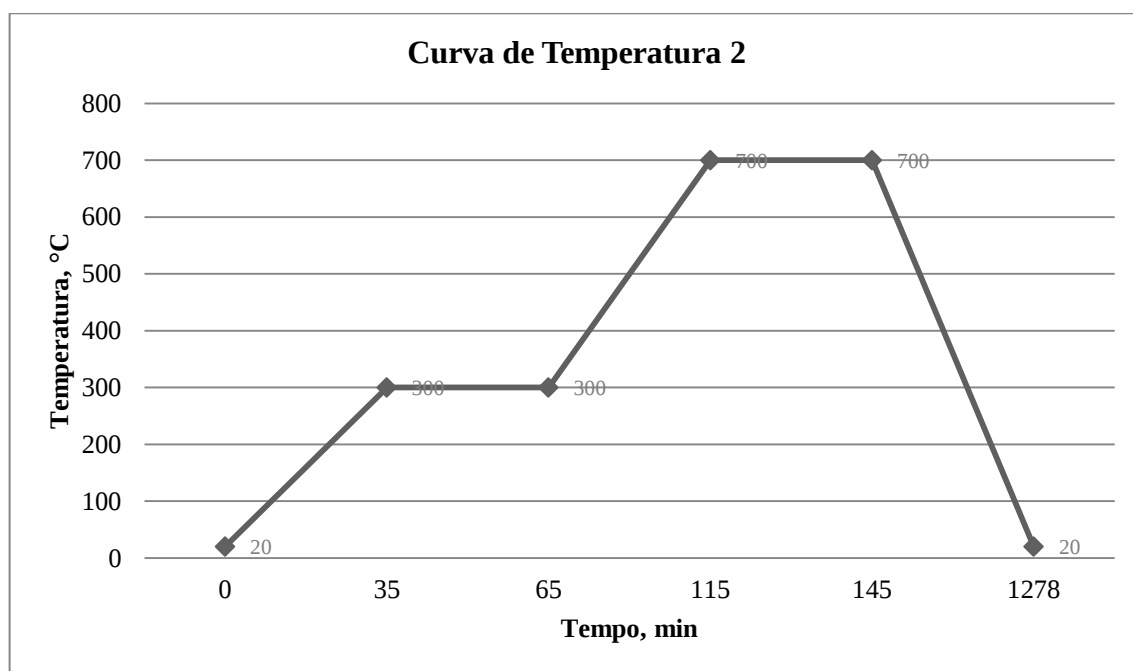
temperatura ter atingido valores acima do ponto de fusão o processo não foi suficiente para que a essa camada sumisse completamente. O material utilizado inicialmente para os testes seguintes apresentavam-se de forma análoga ao do teste 1 (figura 8).

4.2 TESTE DE NÚMERO 2 (700°C, 30 MINUTOS)

Para o segundo experimento, em que a temperatura de 700°C se manteve constante por 30 minutos, o material usado neste teste, assim como nos seguintes foram todos semelhantes ao da figura 8, mostrando anteriormente no tópico 4.

O teste de número 2 apresentou uma curva de temperatura conforme mostrada no gráfico 2 a seguir.

Gráfico 2 - Curva de temperatura do teste 2, temperatura máxima de 700°C com tempo de permanência de 30 minutos.



Fonte: Autora, 2017

O processo completo, do aquecimento inicial ao resfriamento durou cerca de 21,31h. As figuras 10, 11 e 12 mostrarão como ficou a amostra após sua retirada do forno, sua mistura, e a peça fundida resultante.

Figura 10- Resultado do Teste 2



Fonte: Autora, 2017

Figura 11 - Resultado do Teste 2 misturado



Fonte: Autora, 2017

Figura 12 - Resultado do Teste 2, material fundido



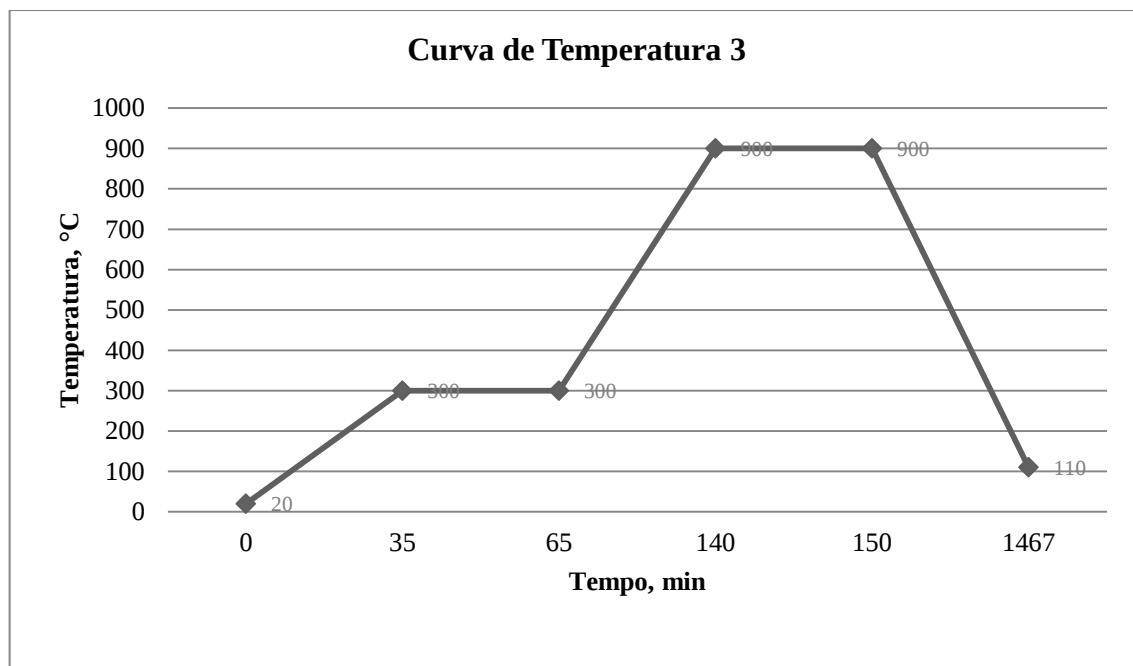
Fonte: Autora, 2017

O material fundido neste teste possuiu características semelhantes ao do primeiro, e foi possível notar que um grande percentual do alumínio inicial não foi fundido, assim como no teste 1, o que pode ser justificado pela temperatura, que foi a mesma para ambos os testes.

4.3 TESTE DE NÚMERO 3 (900°C, 10 MINUTOS)

A variável temperatura máxima foi alterada para 900°C e o teste 3 foi realizado mantendo esta temperatura por 10 minutos, a curva de temperatura é caracterizada conforme mostra o gráfico 3 a seguir.

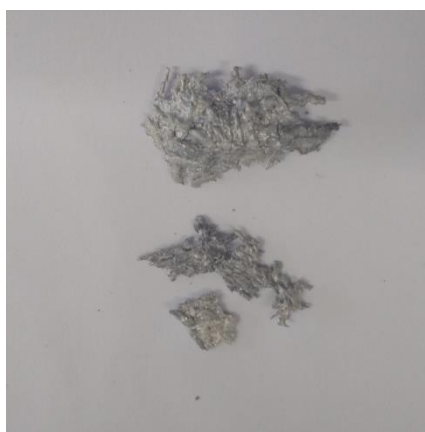
Gráfico 3 - Curva de temperatura do teste 3, temperatura máxima de 900°C com tempo de permanência de 10 minutos.



Fonte: Autora, 2017

Como mostrado no gráfico 3, o processo total durou cerca de 1467 minutos, ou 24,44h, e a amostra foi retirada do forno quando o mesmo ainda marcava 110°C. A figura 13 mostra como ficou o material após o termino do teste.

Figura 13 - Resultado do Teste 3



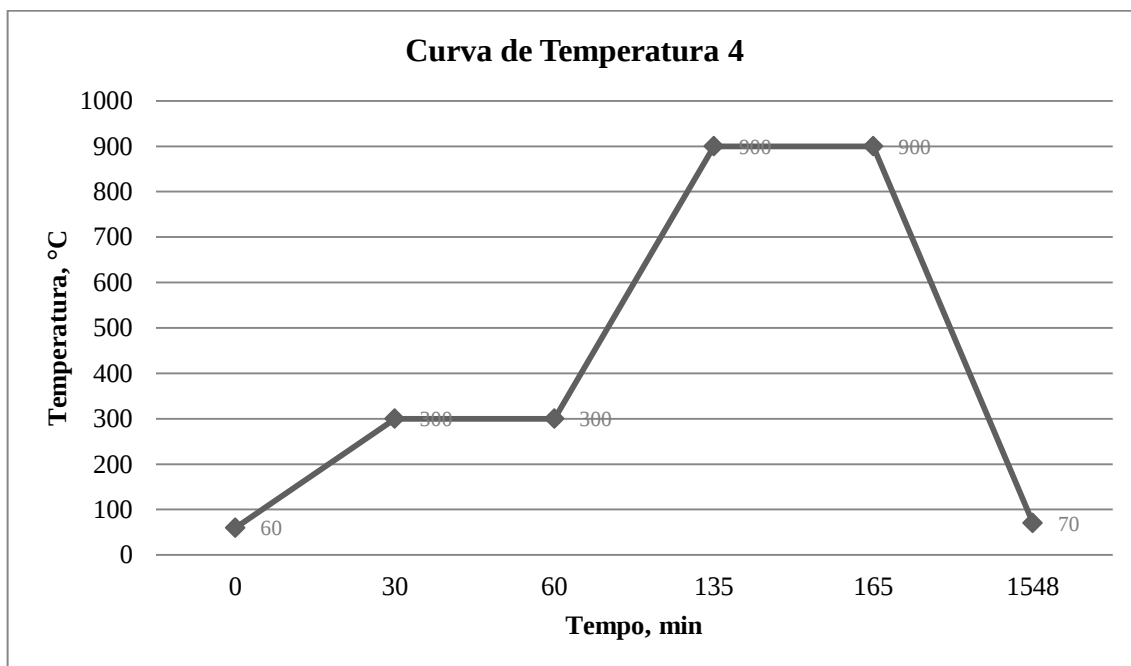
Fonte: Autora, 2017

Como podemos observar o material fundido aqui foi superior aos materiais obtidos nos ensaios anteriores.

4.4 TESTE DE NÚMERO 4 (900°C, 30 MINUTOS)

A curva de temperatura para o teste 4 é mostrada no gráfico 4 e os 900°C correspondentes à temperatura máxima se mantiveram constantes por 30 minutos antes do resfriamento do forno.

Gráfico 4 - Curva de temperatura do teste 4, temperatura máxima de 900°C com tempo de permanência de 30 minutos.



Fonte: Autora, 2017

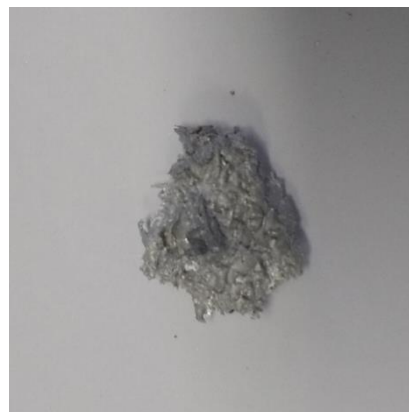
Decorridas 25,81h, a temperatura do forno se encontrava em 70°C, e foi-se realizada a retirada do material do forno, o resultado podemos ver nas figuras 14 e 15.

Figura 14 - Resultado do Teste 4



Fonte: Autora, 2017

Figura 15 - Material fundido no Teste 4



Fonte: Autora, 2017

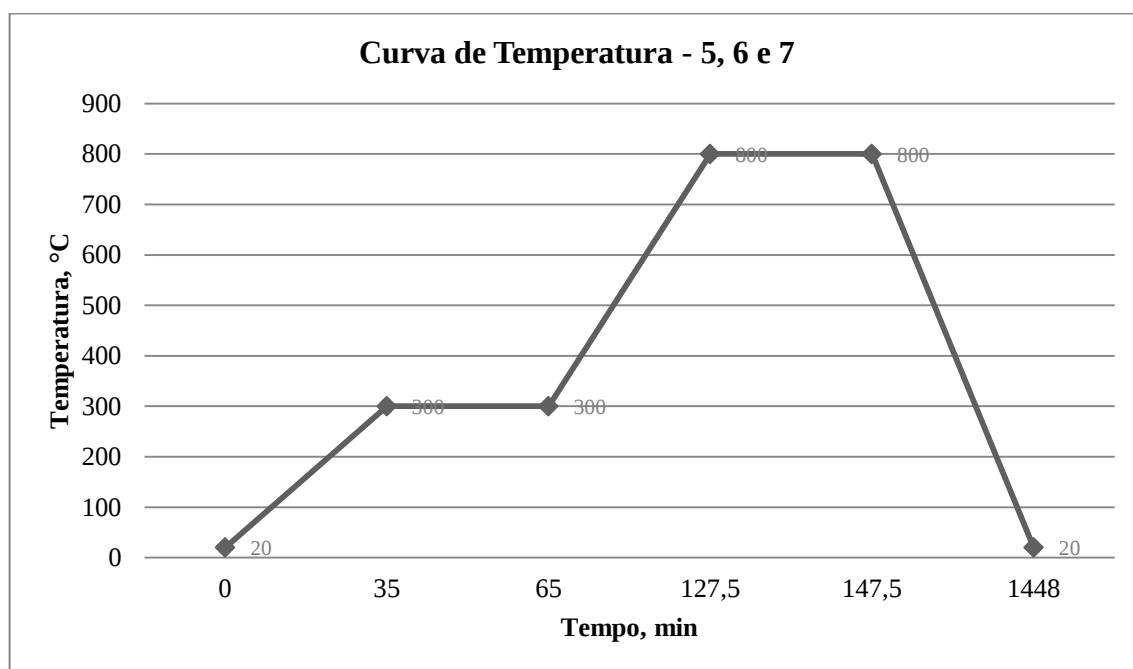
As características da peça fundida neste teste assim como as do teste 3 se assemelham quanto a quantidade fundida, mais detalhes sobre essas quantidades em cada teste do experimento serão dados no tópico 4.7.

4.5 TESTES DE NÚMEROS 5, 6 E 7, DE PONTO CENTRAL (800°C, 20 MINUTOS)

Os testes 5, 6 e 7 se caracterizam como sendo os de ponto central, em que a temperatura foi de 800°C, e o tempo de permanência nela foi de 20 minutos.

Sua curva de temperatura é descrita pelo gráfico 5 abaixo. E em média cada processo durou aproximadamente 24h.

Gráfico 5 - Curva de temperatura dos testes 5, 6 e 7, temperatura máxima de 800°C com tempo de permanência de 20 minutos.



Fonte: Autora, 2017

Os resultados para cada um dos 3 testes seguindo esses parâmetros de temperatura e tempo estão mostrados nas figuras de 16 a 21 a seguir, e mostram para cada teste a amostra imediatamente após ser retirada do forno, e o material efetivamente fundido em cada um.

Figura 16 - Resultado do primeiro experimento no ponto central



Fonte: Autora, 2017

Figura 17 - Material fundido no primeiro experimento no ponto central



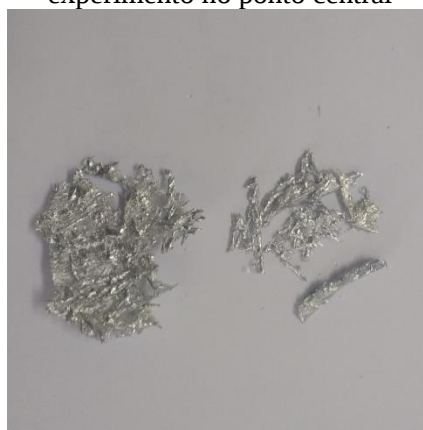
Fonte: Autora, 2017

Figura 18 - Resultado do segundo experimento no ponto central



Fonte: Autora, 2017

Figura 19 - Material fundido no segundo experimento no ponto central



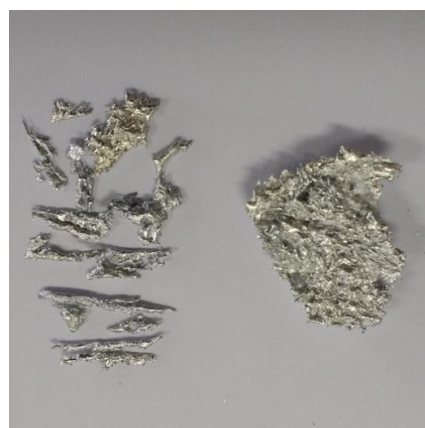
Fonte: Autora, 2017

Figura 20 - Resultado do primeiro experimento no ponto central



Fonte: Autora, 2017

Figura 21 - Resultado do terceiro experimento no ponto central



Fonte: Autora, 2017

4.6 INTERFACE DE AREIA

Uma observação a ser feita é com relação a retirada do alumínio fundido do cadinho de porcelana, que pode ser bastante dificultada em virtude de sua solidificação na superfície do mesmo. Desta forma afim de facilitar a retirada da amostra fundida do cadinho, foi introduzida uma interface de areia no fundo do mesmo em todos os experimentos, conforme podemos observar na figura 22. Foi utilizada a areia pois seu ponto de fusão é de 1713°C e ela funcionaria como proteção para que o material não se solidificasse na superfície do cadinho.

Figura 22 - Interface de areia no cadinho cerâmico



Fonte: Autora, 2017

4.7 RESULTADOS DO PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL FATORIAL E ANÁLISE DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA

Para todos os testes, que tratam da pesagem na análise das amostras, foram realizadas medições da quantidade do alumínio colocado no forno antes do seu início de operação, ao fim da queima do material nos tempos e temperaturas definidos era feita novamente a pesagem deste material, entretanto apenas do que foi efetivamente fundido, a variação entre essas duas pesagens configuram o percentual da fundição. Para o teste 2 por exemplo, como mostrava a figura 6 do tópico 3.5.1, foram colocadas 2,0549g do alumínio reciclado, mas ao fim do processo de fundição, o alumínio que representava a peça fundida pesava apenas 0,0943g, multiplicando esse último valor de 0,0943g por 100 e dividindo o resultado desta multiplicação pela quantidade de alumínio colocada no início (2,0549g) obtém-se percentualmente o valor do rendimento da fundição no teste, que para o caso citado acima é de aproximadamente 4,59%.

Tem-se na tabela 3 abaixo a lista das combinações possíveis dos níveis escolhidos, incluindo os de ponto central e o rendimento obtido como resposta à fundição do material metálico.

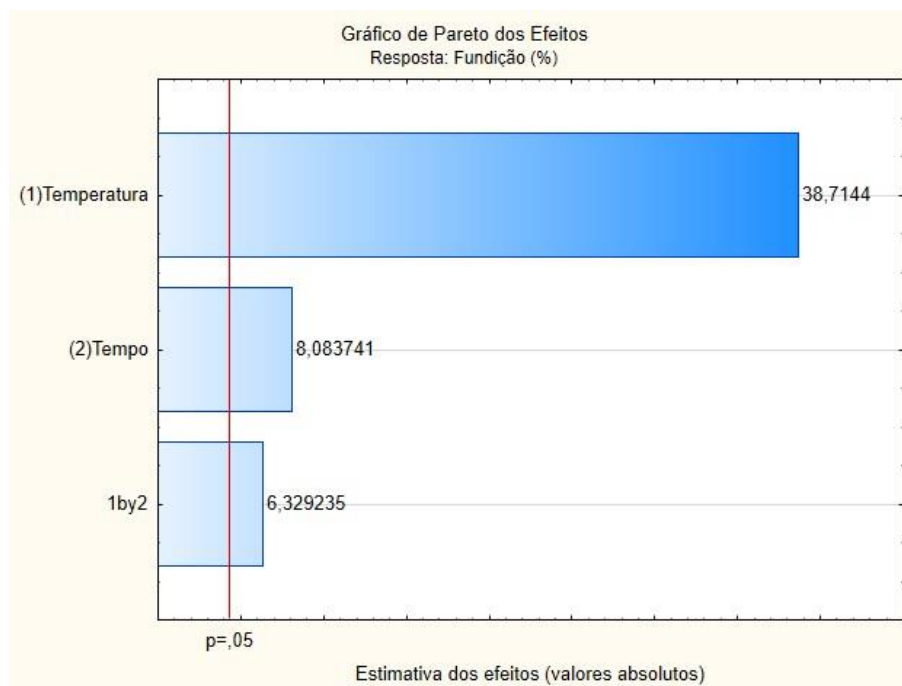
Tabela 3 - Resultados do percentual de fundição (%F) para as condições diversas de tempo e temperatura

Nº do Experimento	Temperatura (°C)	Tempo (minutos)	Peso inicial (g)	Alumínio fundido (g)	Rendimento da fundição %
1	700	10	2,0281	0,0511	2,5196
2	700	30	2,0549	0,0943	4,5886
3	800	20	2,0445	1,1594	56,7063
4	800	20	2,0220	1,1214	55,4599
5	800	20	2,0134	1,0943	54,3491
6	900	10	2,0344	0,8282	40,7098
7	900	30	2,0246	1,1683	57,7063

Fonte: Autora, 2017

Observa-se, mediante os resultados apresentados na tabela 3, que o rendimento da fundição tende a aumentar (exceto no experimento 6) à medida que a temperatura aumenta. Para entender melhor os efeitos dessas variáveis no experimento ira-se utilizar o Diagrama de Pareto, mostrado na figura 23.

Figura 23 - Estimativa dos efeitos das variáveis temperatura (1) e tempo (2) na fundição de alumínio em fornos resistivos

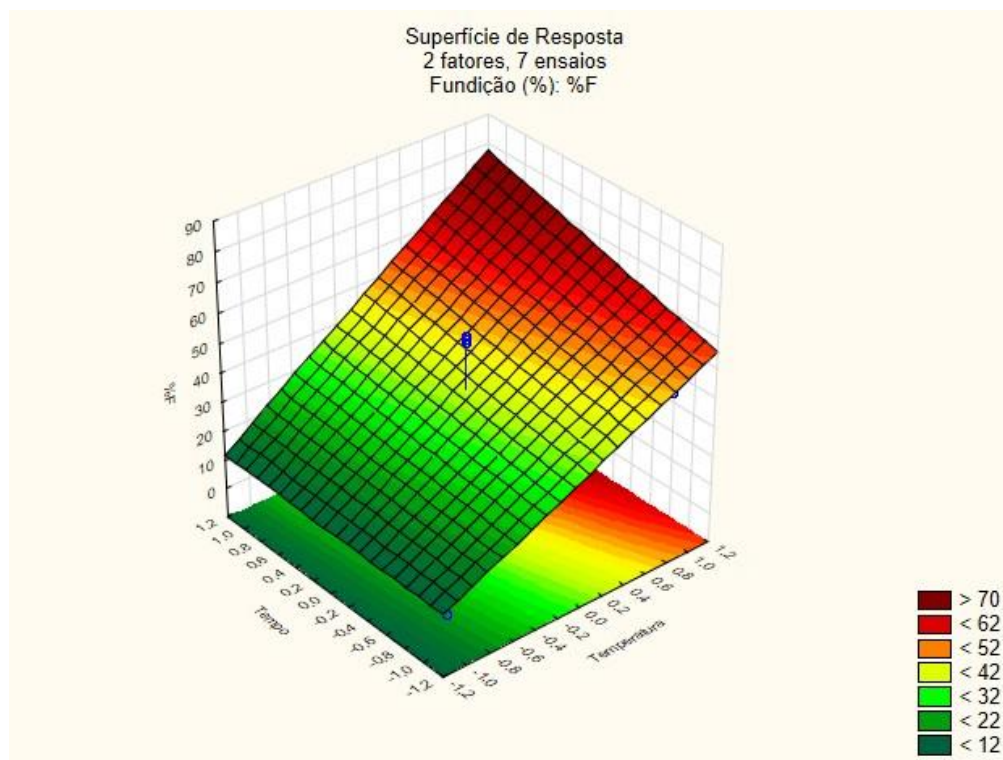


Fonte: Autora, 2017

A partir da figura 23 acima, é possível observar que os parâmetros temperatura (1), tempo (2) e suas interações tem influências sobre a variável resposta considerada com nível de significância de 95% entretanto nota-se que o parâmetro que apresenta influência mais significativa é a temperatura (1). Este efeito positivo está associado a um aumento da variável resposta. Ou seja, quanto maior a temperatura no interior do forno, maior será o percentual de alumínio fundido das embalagens recicladas.

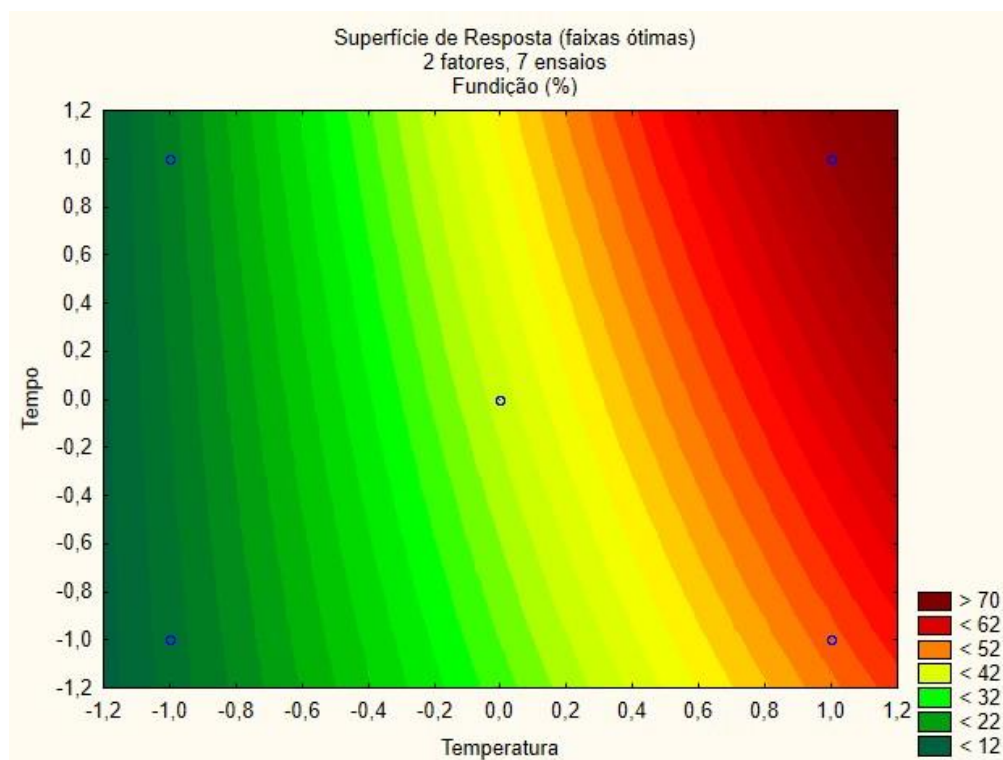
O modelo de superfície de resposta de ordem 2 e de curva de contorno (figuras 24 e 25) que relaciona as temperaturas máximas atingidas e o tempo de permanência nessa temperatura ao rendimento da fundição a nível de significância de 95% é mostrado a seguir.

Figura 24 - Superfície de resposta na determinação da porcentagem de fundição de alumínio em fornos resistivos



Fonte: Autora, 2017

Figura 25 - Curva de contorno da porcentagem de fundição de alumínio



Fonte: Autora, 2017

As figuras 24 e 25 mostraram que os ensaios nos níveis superiores foram os ótimos de resposta, isto é, 900°C por 30 minutos, atingindo % fundição superiores a 70% entretanto percebe-se que para outros tempos se mantendo a faixa de temperatura em 900°C o resultado também é satisfatório, com mais de 50% de material fundido em todas as hipóteses para essa temperatura. Já para o nível inferior de temperatura testado, 700°C, os resultados foram menos significativos uma vez que apenas uma pequena quantidade do material inicialmente submetido ao teste foi efetivamente fundido.

Assim, a superfície de resposta que é apresentada nas figuras 24 e 25 retrata os efeitos que foram observados no diagrama de Pareto, ou seja, as melhores condições para que o rendimento de fundição se caracterize como máximo estão localizadas nos níveis superiores dos parâmetros analisados.

A reciclagem deste, e de outros tipos de materiais que provem de embalagens é uma alternativa à minimização da poluição ambiental, Silva (2014) esclarece que dentro do contexto de reciclagem, embora se esteja fazendo muito em nível mundial, são poucos os materiais aproveitados no Brasil, ele comenta que esta perda é estimada em cerca de 4 bilhões de dólares por ano.

Ainda avaliando o viés da reciclagem do alumínio, em SENAC (2000) afirma-se que ela traz benefícios ao meio ambiente e ao país, economizando matéria-prima e energia elétrica. Além disso, a reciclagem reduz o volume de lixo enviado aos aterros sanitários e ajuda a manter a cidade limpa, já que 76% do lixo, como comentado por Silva (2012) é jogado a céu aberto.

4.8 ERROS EXPERIMENTAIS

Algumas observações devem ser mencionadas acerca deste experimento em detrimento de erros que podem ter ocorrido.

A primeira é que a separação do material fundido e não fundido pode ter influído nos resultados, visto que algumas peças fundidas tinham dimensões bem reduzidas e não foram contabilizadas como fundidas nos cálculos do rendimento da fundição.

E a segunda é com relação aos erros de arredondamento caracterizados pela diferença entre a aproximação calculada dos rendimentos de fundição e seu valor matemático exato podem também ter ocorrido.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da análise de influencia dos parâmetros tempo e temperatura foi possível verificar que a eficiência da fundição do alumínio reciclado em forno do tipo resistivo tem como parâmetro que mais influencia o processo a variável temperatura, visto que os melhores resultados são obtidos quando esta se encontra em seu nível máximo estudado.

A faixa ótima de trabalho para a fundição do alumínio nos fornos resistivos, constatadas através da análise de superfície de resposta foi de 900 °C de temperatura e 30 minutos de permanência nessa temperatura.

O planejamento experimental mostrou ser uma ferramenta útil para a previsão e simplificação do processo de fundição, além disso ele permite ainda análises mais complexas, que englobem mais parâmetros, fazendo assim com que se obtenha um maior numero de previsões com resultados importantes no que concerne a modelagem de dados e previsões quantitativas de erros.

Algumas sugestões para trabalhos futuros podem ser citadas e uma delas engloba a análise de parâmetros como dimensão das placas, rampa de aquecimento, temperatura estabelecida para o patamar, entre outros fatores que podem influir sobre o resultado final e podem ser objetos de novos estudos.

Outra sugestão de suma importância a ser citada é a de se fazer a análise e caracterização microestrutural do alumínio em todas as amostras, antes e depois da fundição, para que seja possível obter informações sobre as propriedades do metal, utilizando por exemplo a espectrometria de fluorescência de raios X, uma vez que estes ensaios possibilitam a análise da amostra fornecendo resultados precisos sobre a composição elementar do material fundido (NASCIMENTO FILHO, 1999; COLPAERT, 1974). Só a partir desta análise se pode definir a qualidade metalúrgica do alumínio fundido e determinar os ajustes necessários em sua composição química para que ele possa ser reintroduzido no ciclo produtivo.

Por fim, vale salientar que a reciclagem deste tipo de material, apesar de ter uma menor espessura e nível de contaminação que pode variar é muito importante para o desenvolvimento sustentável uma vez que o alumínio proveniente de folhas e laminados é consumido crescentemente pela população e mercado em geral.

REFERÊNCIAS

ABAL - ASSOCIACAO BRASILEIRA DO ALUMINIO. **O Alumínio:** Processo de produção. Disponível em: <www.abal.org.br/aluminio/processos_reciclagem.asp>. Acesso em 11 de Fev. 2017

ABAL: **FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES DO ALUMINIO.** São Paulo - Sp: Associação Brasileira do Alumínio, maio 2007. Elaborado Pela Comissão Técnica.

ANDRADE, João Carlos de. O Uso da Balança Analítica. **Chemkeys**, São Paulo, p.1-3, mar. 2000. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/laequi/wp-content/uploads/2012/07/Uso-da-Balança.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2017.

ACTION, Portal. **EXPERIMENTO COMPOSTO CENTRAL.** 2017. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/622-631-delineamento-composto-central>>. Acesso em: 17 maio 2017.

ANJOS, A. dos. Análise de Variância. In: ANJOS, A. dos. **Estatística II.** Curitiba: -, 2009. p. 109-118. Notas de Aula UFPR. Disponível em: <<http://www.est.ufpr.br/ce003/material/cap7.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2017.

BARBOSA, Janaína Medeiros Dantas. **Influência da areia argilosa na recuperação de petróleo por injeção de vapor.** 2009. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Petróleo, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009. Disponível em: <[ftp://ftp.ufrn.br/pub/biblioteca/ext/bdtd/Janaina Medeiros Dantas Barbosa DISSERT_01_35.pdf](ftp://ftp.ufrn.br/pub/biblioteca/ext/bdtd/Janaina_Medeiros_Dantas_Barbosa DISSERT_01_35.pdf)>. Acesso em: 17 maio 2017.

COSTA, Luciângela Galletti da; PIRES, Heloisa. A CONTRIBUIÇÃO DA RECICLAGEM DO ALUMINIO PARA O ALCANCE DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**, Rio de Janeiro, p.1-9, ago. 2007.

COLPAERT, H. **Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns**, Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 3ª ed., 1974.

GALDÁMEZ, Edwin Vladimir Cardoza. **APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS DE PLANEJAMENTO E ANÁLISE DE EXPERIMENTOS NA MELHORIA D QUALIDADE DE UM PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PRODUTOS PLÁSTICOS.** 2002. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

INTERNATIONAL ALUMINIUM INSTITUTE, 2009, New Zealand House, United Kingdom. **Global Aluminium Recycling: A Cornerstone of Sustainable Development.** -: -, 2009. 36 p.

JURAN, J.M.; GRZYNA JR., F.M.; BINGHAM JR., R.S. (1951). *Quality control handbook*. 3. ed. New York, McGraw-Hill. Cap.27, p.1-49.

KONDIC, V. Princípios Metalúrgicos da Fundição. **Editora Polígono (USP)**, São Paulo, Brasil, 1973.

LUIZ, L. C. et al. O Uso da Fluorescência de Raios X como Técnica Complementar para Análise da Composição Química de Medicamentos Genéricos e Referência. **Physicæ**, Rio de Janeiro, Rj, Brasil, p.1-7, out. 2014.

MIRANDA, Daniele de Almeida; COSTA, Bruno Varela Motta da; YOGUI, Gilvan Takeshi. **Procedimentos para utilização, calibração e verificação de desempenho da balança analítica.** Procedimento Operacional Padrão OrganoMAR-2012-01, Revisão nº1. Laboratório de Compostos Orgânicos em Ecossistemas Costeiros e Marinhos, Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, p.1-8, 10 jul. 2012. Disponível em: <<https://www.ufpe.br/organomar/images/protocolos/2012-01-r1.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2017.

NASCIMENTO FILHO, V. F., “**Técnicas analíticas nucleares de fluorescência de Raios X por dispersão de energia (ES-XRF) e por reflexão total (TXRF)**”. Departamento de Ciências exatas ESALQ, USP, SP. Julho,1999.

NETO, A. C. Técnicas estatísticas aplicadas à engenharia da qualidade. Curitiba, Programa do Mestrado da Engenharia Mecânica, UFPR, 2002.

OGLIARI, Paulo José; PACHECO, Juliano Anderson. ANÁLISE ESTATÍSTICA USANDO O STATISTICA® 6.0. -, Florianópolis, p.1-133, jun. 2011. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA.

PROLAB. **Saiba o que é, e como funciona um forno mufla.** 2014. Disponível em: <<http://www.prolab.com.br/blog/saiba-o-que-e-e-como-funciona-um-forno-mufla/>>. Acesso em: 23 mar. 2017.

SENAC. **Brasil recicla mentalidade.** Senac e Educação Ambiental, Rio de Janeiro, 9(1):32-33, 2000.

SILVA, Pedro Celso Soares da et al. ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO DESTINO FINAL DO LIXO URBANO DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON, PR. **Varia Scientia Agrárias**, Rondon – Pr, v. 02, n. 02, p.119-133, jul. 2012. Disponível em: <<http://e-revista.unioeste.br/index.php/variascientiaagraria/article/view/5206/5051>>. Acesso em: 20 maio 2017.

TRINDADE, Jemmla Meira. **OTIMIZAÇÃO DE UM PROCEDIMENTO ELETROANALÍTICO USANDO PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAÇÃO DE METAIS EM GASOLINA COMUM.** 2009. 128 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009. Cap. 5.

VALENTIM, Antônio Rodrigo; OLIVEIRA, Ivanir Luiz de. RECICLAGEM DE FOLHAS DE ALUMÍNIO EM FORNO À INDUÇÃO. **Revista Gestão Industrial**, [s.l.], v. 7, n. 2, p.1-15, 5 jul. 2011. Universidade Tecnológica Federal do Parana (UTFPR). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3895/s1808-04482011000200012>>. Acesso em 11 de Fev. 2017.