

FUNDAÇÃO DE ENSINO “EURÍPIDES SOARES DA ROCHA”  
CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA – UNIVEM  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**MARCUS VINICIUS BITENCOURT**

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DO ENSAIO NÃO DESTRUTIVO  
POR RAIOS-X NA ANÁLISE DA QUALIDADE DE COMPONENTES  
AERONÁUTICOS FUNDIDOS EM LIGA DE ALUMÍNIO.**

MARÍLIA  
2013

FUNDAÇÃO DE ENSINO “EURÍPIDES SOARES DA ROCHA”  
CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA – UNIVEM  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**MARCUS VINICIUS BITENCOURT**

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DO ENSAIO NÃO DESTRUTIVO  
POR RAIOS-X NA ANÁLISE DA QUALIDADE DE COMPONENTES  
AERONÁUTICOS FUNDIDOS EM LIGA DE ALUMÍNIO.**

Trabalho de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília – UNIVEM, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador:  
Prof. Dr.: José Antonio Poletto Filho

MARÍLIA  
2013

Bitencourt, Marcus Vinicius

Estudo da aplicação do ensaio não destrutivo por raios-x na análise da qualidade de componentes aeronáuticos fundidos em liga de alumínio/ Marcus Vinicius Bitencourt; orientador: José Antonio Poletto Filho. Marília, SP: [s.n.], 2013.

46 f.

Trabalho de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Curso de Engenharia de Produção, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília –UNIVEM, Marília, 2013.

1. Raios X 2. Ensaio não destrutivo 3. Fundição de alumínio

CDD: 658.562



FUNDAÇÃO DE ENSINO "EURÍPIDES SOARES DA ROCHA"  
Mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília - UNIVEM  
Curso de Engenharia de Produção.

Marcus Vinicius Bitencourt - 44792-7

TÍTULO "Estudo de aplicação do ensaio não destrutivo por raios-x na análise da qualidade de componentes aeronáuticos fundidos em liga de alumínio. "

Banca examinadora do Trabalho de Curso apresentada ao Programa de Graduação em Engenharia de Produção da UNIVEM, F.E.E.S.R, para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Nota: 9,0

ORIENTADOR:   
Jose Antonio Poletto Filho

1º EXAMINADOR:   
Danilo Correa Silva

2º EXAMINADOR:   
Fabio Piola Navarro

Marília, 05 de dezembro de 2013.

*Dedico este trabalho ao meu filho Miguel, que a cada dia renova minha fé na vida com seu sorriso e sua alegria contagiante, e minha namorada e futura esposa Daiane, que sempre esteve ao meu lado nas mais adversas situações, e sei que sempre poderei contar.*

## *AGRADECIMENTOS*

*Primeiramente agradeço aos meus pais, Paula Cioni Bittencourt e José Claudio Bitencourt, que são meus exemplos de vida. Muito pensei no que iria escrever aqui pelo tanto que tenho a agradecer a ambos, no entanto percebi que não há palavras para expressar o imenso amor que sinto por vocês, serei sempre feliz e grato por tê-los ao meu lado.*

*Aos meus companheiros de estudo Ricardo Golin, Marcelo Shiraishi, Danilo Sena, Rafael Bugno, e tantos outros que compartilharam comigo muitos momentos de alegria e me ajudaram nos momentos de dificuldade nesta intensa jornada de cinco anos.*

*A todos que participaram de minha trajetória profissional, nas diversas empresas que passei, agradeço a cada conhecimento compartilhado e cada experiência vivida.*

*E por fim a todas as pessoas que participaram e as que participam de minha vida.*

*“Estar decidido, acima de qualquer coisa, é o segredo do êxito.”*

*Henry Ford*

BITENCOURT, Marcus Vinicius. **Estudo da aplicação do ensaio não destrutivo por Raios-x na análise da qualidade de componentes aeronáuticos fundidos em liga de alumínio**. 2013. 50 f. Trabalho de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, Marília, 2013.

## RESUMO

O presente trabalho visa apresentar a utilização do Ensaio Não Destrutivo por Raios X como ferramenta de inspeção da qualidade de componentes fundidos em alumínio utilizados na indústria aeronáutica, que diante da grande quantidade de variáveis do processo de fundição, pode ocasionar uma ampla quantidade de defeitos no produto final, os quais não são detectáveis por inspeções convencionais. O componente fundido em alumínio foi classificado de acordo com a norma internacional, e esta classificação definiu os tipos e as descontinuidades toleráveis no fundido, e o tamanho máximo permissível para as descontinuidades encontradas durante a inspeção radiográfica das peças. Toda sistemática para sua realização, assim como o ensaio radiográfico foi elaborado por um engenheiro qualificado de acordo com as normas internacionais citadas durante este trabalho. As imagens resultantes do ensaio foram analisadas e comparadas com o padrão radiográfico para gerar o laudo do ensaio, onde o mesmo foi comparado à norma de referência que descreve as descontinuidades características do alumínio fundido, os defeitos característicos das ligas fundidas em alumínio como rechupes e porosidades, incidiram sobre todas as peças, porém em quantidades permitidas por norma conforme descrito na análise, demonstrando assim que o processo de fundição de alumínio, assim como o projeto do modelo e demais fatores que impactam diretamente na qualidade da peça fundida, atende completamente as exigências normativas e o rígido controle de qualidade do segmento aeronáutico, confirmando que o produto está completamente apto à utilização em condições de voo.

**Palavras-chave:** Raios X, Ensaios não destrutivos, radiografia industrial.

BITENCOURT, Marcus Vinicius. **Estudo da aplicação do ensaio não destrutivo por Raios-x na análise da qualidade de componentes aeronáuticos fundidos em liga de alumínio**. 2013. 50 f. Trabalho de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, Marília, 2013.

## ABSTRACT

This paper presents the use of X Ray nondestructive test, as a tool for quality inspection of cast components in aluminum used in aircraft industry, that given the large number of variables of the casting process, can cause a large amount of defects in final product which are not detectable by conventional inspections. The cast aluminum component was classified according to the international standard, and is defined classification types and tolerable discontinuities in the cast, and the maximum allowable size for the discontinuities encountered during radiographic inspection of parts. The whole system for their realization, as well as radiographic test was developed by a qualified engineer according international standards identified during this work. The images obtained from the test were analyzed and compared with the radiographic pattern to generate the report of the test, where it was compared to the reference standard that describes the characteristics of discontinuities cast aluminum, the characteristic defects of cast aluminum alloys as sink marks and porosities, focused on all parts, but in amounts permitted by rule as described in the analysis, thus demonstrating that the process of smelting aluminum, as well as design of the model and other factors that directly impact the quality of the casting, completely meets the requirements normative and rigid quality control aviation segment, confirming that the product is completely fit for use in flight conditions.

**Keywords:** Maintenance. X ray, Non destructive, industrial radiograph.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Tubo de raios catódicos utilizado por Röntgen, (1896).....	15
Figura 02 – Primeira radiografia realizada: Mão da esposa de Röntgen, (1896).....	16
Figura 03 – Estrutura do Equipamento de Raios X.....	17
Figura 04 – Ilustração da colisão e salto de elétrons. ....	18
Figura 05 – Estrutura do filme radiográfico.....	20
Figura 06 – Sistema de Radioscopia usando captura digital da imagem.....	21
Figura 07 – Terminologia dos elementos do molde de fundição. ....	25
Figura 08 – Etapas da fundição.....	26
Figura 09 – Radiografia de um defeito de fundição: Rechupe.....	27
Figura 10 – Radiografia de um defeito de fundição: Microporosidade (Textura Esponja).....	28
Figura 11 – Radiografia de um defeito de fundição: Inclusões.....	29
Figura 12 – Radiografia de um defeito de fundição: Bolhas de ar.....	29
Figura 13 – Válvula de combustível de alumínio fundido.....	30
Figura 14 – Sistema de Combustível de uma aeronave.....	31
Figura 15 – Válvula de Combustível sem a tampa, em suas posições de uso.....	32
Figura 16 – Padrão de referência ASTM E155 para buracos de gás em alumínio.....	36
Figura 17 – Padrão de descontinuidades de buracos de gás de nível 2, 3, 6 e 7. ....	36
Figura 18 – Tubo de Raios X Comet.....	38
Figura 19 – Imagem radiográfica e peça radiografada.....	39
Figura 20 – Gráfico das Descontinuidades apresentadas nas peças.....	42
Figura 21 – Gráfico de incidência de descontinuidades.....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Carga horária para qualificação dos END .....	23
Tabela 02 – Tempo mínimo de experiência para qualificação dos técnicos em END. ....	24
Tabela 03 – Tempo de experiência para qualificação dos Técnicos de nível 03.....	24
Tabela 04 – Tamanho da amostra para ensaio radiográfico de fundidos classe 2.....	33
Tabela 05 – Níveis máximos de descontinuidades permitidos em ensaio radiográfico para fundição de alumínio de acordo com ASTM E 155. ....	37
Tabela 06 – Laudo radiográfico.....	40
Tabela 08 – Níveis máximos de descontinuidades permitidos para fundidos grau B. ....	41

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMS: Aerospace Material Specifications

ASTM: American Society for Testing and Material

BS: British Standard

DIN: Deutsches Institut für Normung

EN: European Standards

END: Ensaio Não Destrutivo

IQI: Indicador de qualidade da imagem

Km/s: Quilômetro por segundo

KV: Quilo Volt

mA: Miliampere

NAS: National Aerospace Standard

RX: Raios X

SAE: Society of Automotive Engineers

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – OBJETIVOS.....	14
1.1 Objetivos gerais.....	14
1.2 Objetivos específicos.....	14
1.3 Justificativa.....	14
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2 RAIOS X.....	15
2.1 Descoberta da Radiação X.....	15
2.2 A produção de Raios X.....	17
2.3 Obtenção da imagem radiográfica.....	19
2.4 Qualificação do Inspetor de Ensaios Não Destrutivos.....	21
2.5 Processo de Fundição.....	25
2.6 Principais defeitos da fundição em alumínio.....	27
2.7 Elemento Radiografado.....	30
2.8 Classificação do fundido.....	32
2.9 Definição do tamanho da amostragem.....	33
2.10 Parâmetros para análise radiográfica.....	34
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA.....	38
3.1 Qualificação do executor do ensaio.....	38
3.2 Materiais.....	38
3.3 Análises.....	39
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS OBTIDOS.....	42
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES.....	43
CAPÍTULO 6 – REFERÊNCIAS.....	44

## INTRODUÇÃO

Cada vez mais as empresas buscam a qualidade de seus produtos como diferencial competitivo e também como uma das vertentes para redução de custos de fabricação melhorando assim sua rentabilidade. A fim de atender a estas premissas, vários segmentos da indústria, seja metal-mecânica, alimentícia, farmacêutica, automotiva, aeroespacial, entre outros, aderiram ao uso dos Ensaio Não Destrutivos (END) como método de inspeção da qualidade de requisitos e/ou características específicas de seus produtos.

A inspeção por END se demonstra como uma forma economicamente viável de inspecionar produtos pelo fato de manter a integridade dos mesmos, sem afeta-los química ou fisicamente, sendo assim, não gerando perdas devido à necessidade do ensaio, como aconteceria em um ensaio metalográfico ou de dureza, por exemplo, onde as peças ou corpos de prova seriam inutilizados após o ensaio. Outro aspecto importante dos END é o fato dos mesmos serem utilizados durante o processamento do produto sem interferir nas etapas seguintes de produção.

Dentre os END mais comumente utilizados para inspeção da qualidade, há o ensaio por Raios X, líquido penetrante, partícula magnética, corrente parasita, ultrassonografia, entre outros. É importante salientar que cada um dos END possui uma característica de aplicação, por exemplo, podemos citar o ensaio por líquido penetrante para visualização de descontinuidades superficiais, ultrassonografia e Raios X para análise interna do material; Sendo assim, os END devem ser aplicados de acordo com o projeto do produto e sua aplicação e não de maneira aleatória.

Este trabalho foi focado na inspeção da qualidade de um componente oriundo do processo de fundição, que diante da grande quantidade de variáveis durante este processo, proporciona uma vasta gama de defeitos no produto final, os quais geralmente não são detectáveis por inspeções convencionais, tais como inspeções visuais, dimensionais, entre outras. Para isto foi selecionado o END por Raios X para realização da análise de uma peça fundida em liga de alumínio, utilizada na indústria aeroespacial, que devido à sua aplicação em um componente que exige estanqueidade, necessita ser analisada quanto a defeitos internos no material, a fim de verificar sua integridade estrutural.

## **CAPÍTULO 1 – OBJETIVOS.**

### **1.1 Objetivos gerais.**

O objetivo deste trabalho é analisar se o processo de fundição está apto a produzir peças com a qualidade estipulada com base nas normas de inspeção aeronáutica vigentes.

### **1.2 Objetivos específicos.**

- Definir as normas de inspeção e a classificação do componente fundido de acordo com as normas aeronáuticas;
- Analisar o laudo radiográfico das peças ensaiadas de acordo com as normas definidas para o produto;
- Verificar se o componente em questão está apto a condições de voo.

### **1.3 Justificativa.**

Os componentes aeronáuticos devem respeitar as normas internacionais de projeto, fabricação e inspeção da qualidade. Um dos métodos muito utilizados para análise da qualidade neste segmento é a radiografia, neste caso, utilizamos a radiografia para a análise do corpo de uma válvula de combustível, na intenção de detectar defeitos internos como trincas e porosidade que são característicos no material inspecionado, onde a presença destes defeitos acarretaria em falhas no próprio componente, comprometendo assim o funcionamento da aeronave em condição de voo e gerando um grande risco a vida dos tripulantes.

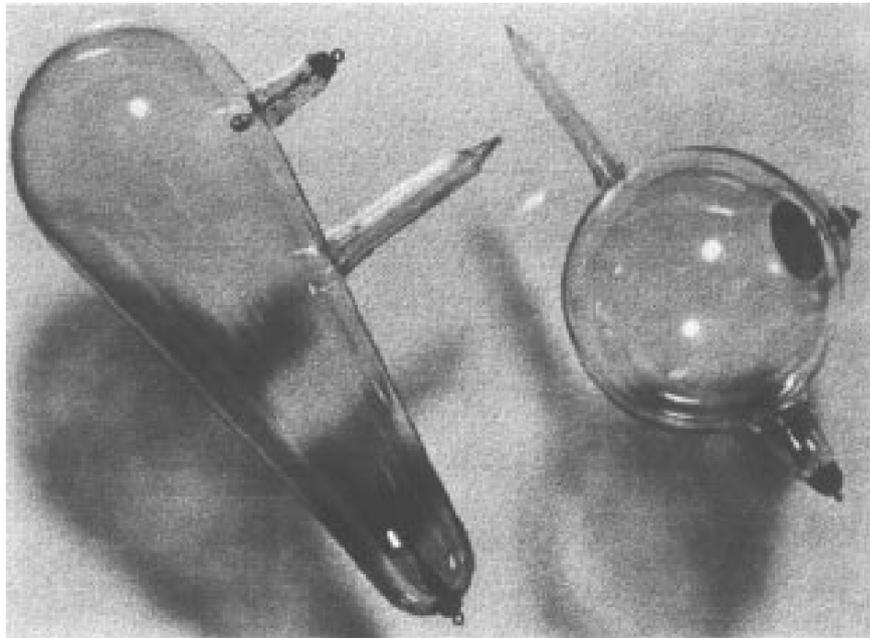
## CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2 RAIOS X.

#### 2.1 Descoberta da Radiação X

Wilhelm Conrad Röntgen, nascido em 1845, foi um físico experimental, que interessado pelos estudos de outros físicos da época como Hertz e Lenard sobre raios catódicos, começou a realizar experimentos para investigar os estes fenômenos. Em 1895 iniciou seu trabalho utilizando um tubo catódico blindado (tubo de Crooks – Figura 01) que ao ser energizado, produziu marcas em um papel com platino-cianeto de bário o qual é sensível a luz. O fato do tubo ser blindado com papelão preto não havendo frestas para emissão de luz e não havendo nenhuma outra fonte que poderia causar a impressão no papel chamou a atenção de Röntgen. Logo se iniciou a investigação sobre o fenômeno ocorrido naquela ocasião, e deste experimento surgiram às primeiras evidências da emissão dos Raios X (MARTINS, 1998).

Figura 01 – Tubo de raios catódicos utilizado por Röntgen, (1896)



Fonte: Martins (1998, pg.377)

Ao final de 1895, Röntgen se dedicou intensamente ao estudo desta radiação desconhecida até o momento, e em dezembro do mesmo ano, redigiu seu primeiro artigo sobre esta nova radiação. Em 1º de janeiro do ano seguinte, enviou a vários físicos seu artigo acompanhado da radiografia de diversos itens, inclusive da mão de sua esposa (Figura 02), o que lhe rendeu o prêmio Nobel de física em 1901.

Figura 02 – Primeira radiografia realizada: Mão da esposa de Röntgen, (1896)



Fonte: Pereira (2009, pg.01)

Nesta época os cientistas Pierre e Marie Curie com seus experimentos, realizaram a descoberta dos elementos Polônio e Radio criando a atual definição de radioatividade. Importante lembrar que apenas no início do século XX Rutherford definiu o modelo atômico utilizado até hoje (ANDREUCCI, 2001).

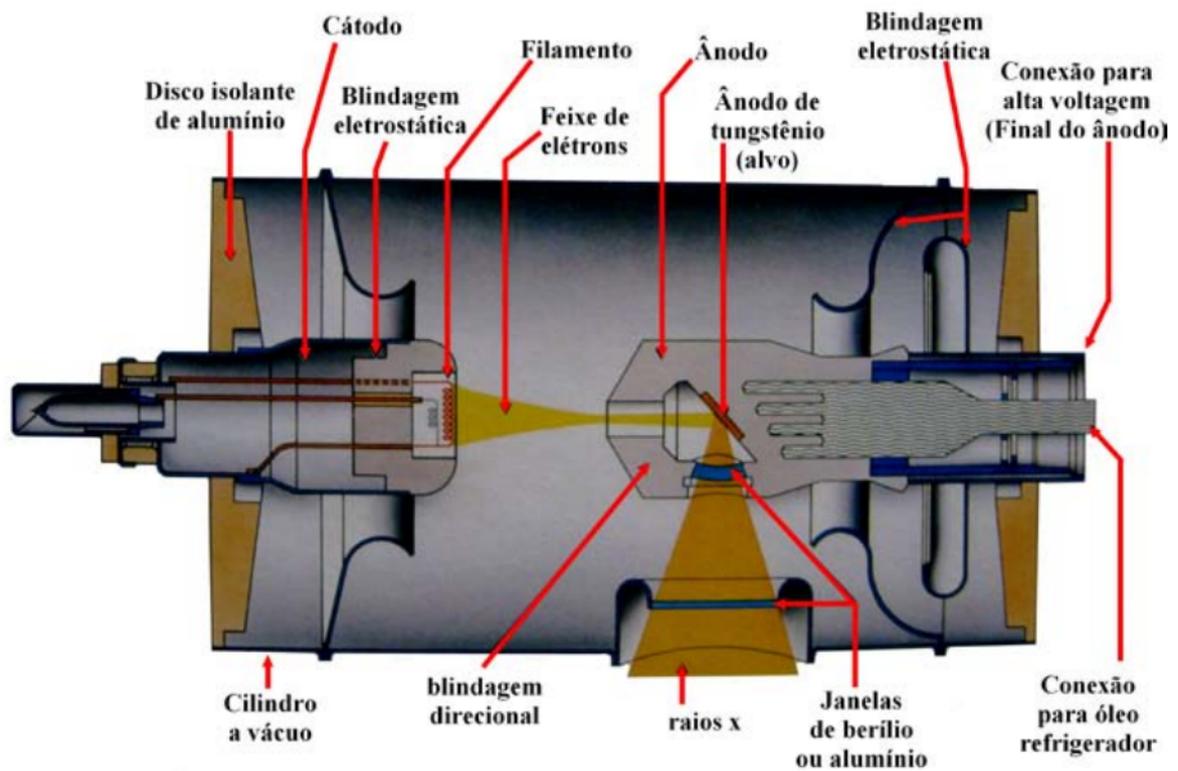
Segundo Andreucci (2001), a propriedade da radiação atravessar materiais opacos à luz visível, lhe confere o nome de “Radiação Penetrante” onde ainda pode ser decomposta em Raios X e Raios Gama. A radiação penetrante compartilha alguns aspectos com a luz visível, tais como a velocidade de propagação de 300.000 km/s, e ambas não serem afetados por campos eletromagnéticos. Outra característica que ambas compartilham é a característica de

refração, porém, a radiação penetrante possui um baixo índice de refração, sendo detectável apenas por instrumentos extremamente sensíveis, o que explica o fato de não ser possível focalizá-la com lentes.

## 2.2 A produção de Raios X

Os equipamentos de produção de Raios X são constituídos basicamente por um tubo de vidro com um par de eletrodos, o cátodo e o ânodo estão em um ambiente de pressão relativa negativa. No cátodo há um filamento por onde circula uma tensão elétrica de alguns milhares de Volts (KV) e uma corrente de alguns miliampéres (mA), incandescendo o filamento que passa a emitir elétrons (ANDREUCCI, 2003). O ânodo, sendo um disco chato de tungstênio carregado positivamente atrai os elétrons emitidos (Figura 03).

Figura 03 – Estrutura do Equipamento de Raios X



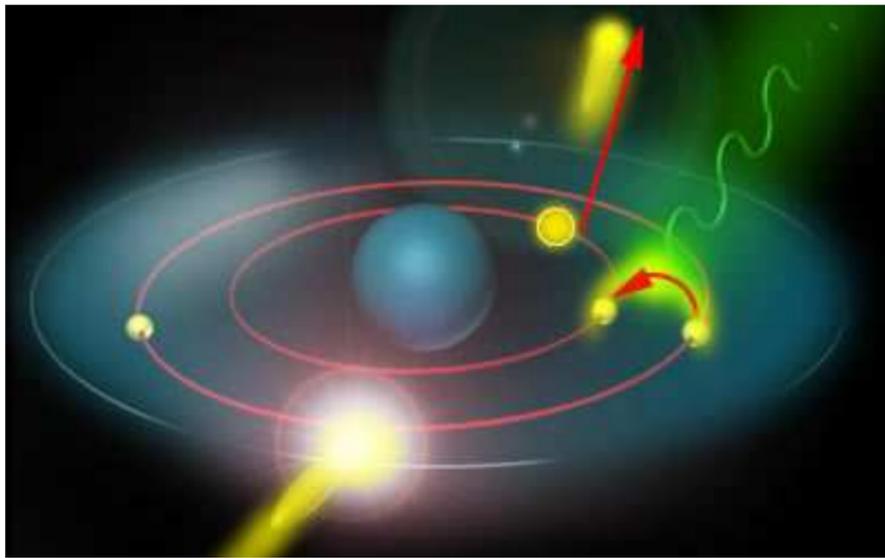
Fonte: Beltran (2010, pg.06)

A elevada diferença de potencial elétrico entre os eletrodos movimenta os elétrons por dentro do tubo, que ao se chocar com um átomo de tungstênio do ânodo, remove seu

elétron da órbita mais interna. Logo um elétron de uma órbita maior desse átomo tende a preencher esta órbita, e seu “salto” para uma órbita menor libera energia na forma de um fóton de Raios X como ilustrado na figura 04 (VASCONCELOS, 2009).

Os Raios X também podem ser emitidos quando o elétron é atraído pelo núcleo do átomo alterando sua trajetória, e essa súbita alteração causa uma desaceleração no elétron fazendo com que o mesmo libere energia em forma de radiação X (VASCONCELOS, 2009).

Figura 04 – Ilustração da colisão e salto de elétrons.



Fonte: Vasconcelos (2009, pg. 48)

Um aspecto interessante dos equipamentos radiográficos industriais é quanto à geometria do ânodo, quando utilizados ânodos de superfície plana angular, a radiação segue de forma direcional com foco único no elemento a ser radiografado. Há também ânodos de geometria cônica, que ao receber o feixe de elétrons emite radiação de forma panorâmica, ou seja, um feixe homogêneo de 360° (ANDREUCCI, 2003).

De acordo com Vasconcelos (2009), da energia liberada pelas colisões dos elétrons em alta velocidade, apenas 1% se transformam em Raios X que é liberado do tubo para utilização no ensaio radiográfico, os outros 99% da energia se convertem em calor. Logo os equipamentos de Raios X são dotados de sistemas de resfriamento, podendo ser através de irradiação do calor do ânodo, por convecção através da circulação de gás por um prolongamento de cobre do ânodo, ou em condições mais severas de uso circulação de água em uma serpentina (ANDREUCCI, 2003).

Tratando-se de radiografia Industrial, há dois parâmetros fundamentais utilizados para obtenção de imagens, sendo eles a qualidade do feixe de elétrons e a intensidade do mesmo. Quando aumentamos a tensão elétrica no tubo geralmente acima de 120 KV, é elevada a diferença de potencial entre o ânodo e o catodo, proporcionando assim maior velocidade aos elétrons dentro do tubo. Os elétrons com maior velocidade tendem a se chocar com núcleo do átomo de modo que perca mais energia cinética fazendo com que o comprimento de onda da radiação X seja menor, ou seja, possua mais energia. O feixe de Raios X de menor comprimento de onda possui maior capacidade de penetração, por isso é utilizado em materiais mais densos e/ou mais espessos. Logo, o ajuste na tensão do equipamento, está relacionado à qualidade da imagem gerada devido a sua capacidade de penetração dos raios no produto a ser ensaiado, e deve ser adequado as características do mesmo (ANDREUCCI, 2003).

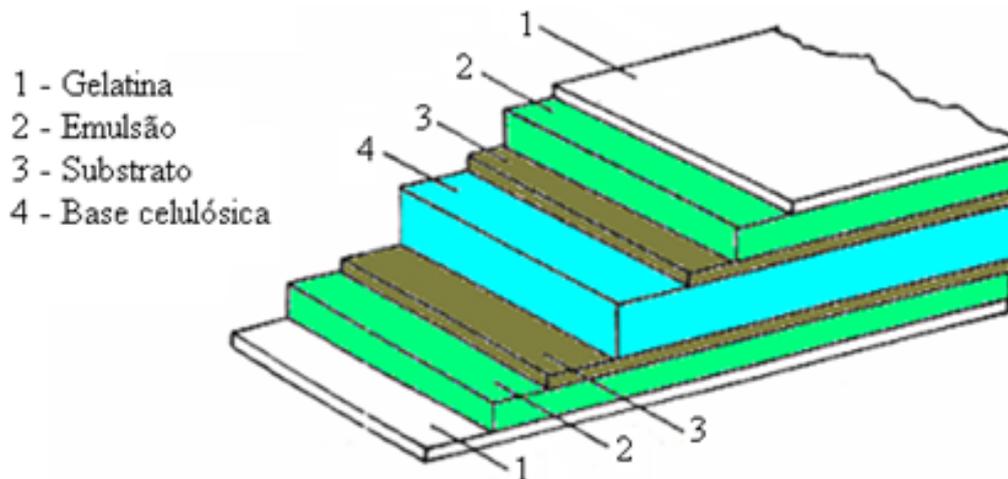
A intensidade dos Raios X está ligada a corrente elétrica que circula no filamento do catodo, quanto maior a corrente mais aquecido ficará o filamento e maior será o desprendimento de elétrons do mesmo, portanto um número maior de colisões acontecerá no ânodo fazendo com que uma quantidade maior de fótons de Raios X seja liberada. Portanto, enquanto a qualidade da imagem está relacionada a capacidade de penetração do Raio X na peça devido ao comprimento de onda e a tensão do equipamento, a intensidade da radiação está ligada ao tempo de exposição da peça sob a radiação para a geração da imagem, onde quanto maior o numero de colisões de elétrons, maior será a quantidade de radiação emitida pelo equipamento, diminuindo o tempo que a peça ficará exposta ao mesmo (ANDREUCCI, 2003).

### **2.3 Obtenção da imagem radiográfica.**

Os filmes radiográficos são constituídos de um material derivado da celulose denominado de base (ANDREUCCI, 2012). Esta camada central, recebe uma camada de sais de prata como Brometo de Prata (AgBr) e Iodeto de prata (AgI ) em cada um dos lados, também chamada de emulsão (Figura 05). Os sais de prata quando aglomerados, formam uma série de grãos, que ao serem submetidos aos fótons, seja de radiação X ou de luz visível, reagem formando metal prata (Ag) com aspecto enegrecido. Portanto as superfícies radiografadas que são menos densas, irão absorver menos energia, e as ondas passarão por ele com maior facilidade gerando uma imagem escura no filme radiográfico, enquanto superfícies

mais densas e/ou espessas absorverão maior quantidade de energia, gerando maior resistência as ondas de Raios X, permitindo que menos ondas atinjam o filme radiográfico, formando assim uma área mais clara (VASCONCELOS, 2009).

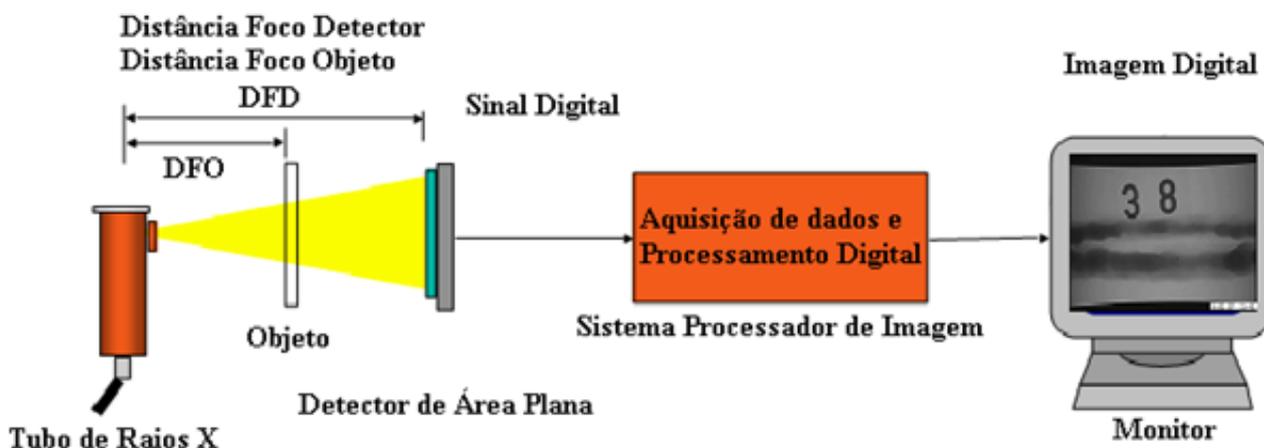
Figura 05 – Estrutura do filme radiográfico



Fonte: Andreucci (2012, pg. 30)

Outra técnica para obtenção de imagens radiográficas é com uso da radioscopia. A radioscopia (Figura 06) consiste na obtenção de uma imagem digital através de um detector de área plana formado por vários pixels dispostos em linhas e colunas de maneira matricial. Cada um destes pixels atua como um detector de radiação pontual, ou seja, detecta a incidência de radiação apenas sobre seu ponto e converte esta quantidade de radiação em um sinal elétrico (PEREIRA, 2013). Sendo assim, o limitador da resolução da imagem é a quantidade de pixels e seu respectivo tamanho, enquanto em ensaios com filme convencional esse limitante é o tamanho dos grãos formados pelos sais de prata (PEREIRA, 2009).

Figura 06 – Sistema de Radioscopia usando captura digital da imagem.



Fonte: Adaptado de: Andreucci (2012, pg. 48).

Segundo Andreucci (2012), não é possível realizar a inspeção radioscópica de peças com grandes espessuras e/ou de materiais com número atômico muito elevado, pois nestes casos seria necessário utilizar muita energia para formar uma imagem clara. Sendo assim a radioscopia é utilizada principalmente em peças pequenas e geralmente em materiais como alumínio e outras ligas leve do gênero. Outra característica da radioscopia é a possibilidade de automatizar totalmente o ensaio, de modo que ao gerar a imagem digital, um computador compara por meio de um sistema específico, a imagem digital obtida com uma imagem padrão do mesmo componente ensaiado analisando se há falhas na peça (ANDREUCCI, 2012).

## 2.4 Qualificação do Inspetor de Ensaio Não Destrutivos.

A norma ASTM E 1742 (2012), qual define as praticas utilizada para a inspeção radiográfica de materiais metálicos e não metálicos, possui um tópico dedicado a qualificação do individuo executor do ensaio, onde faz referência a norma *National Aerospace Standard* 410, ou NAS 410, que visa descrever a qualificação pessoal necessária para a realização dos ensaios não destrutivos na indústria aeronáutica.

Segundo a norma NAS 410 (2008), a empresa que realiza o processo de Ensaio Não Destrutivo por Raios X, deve qualificar seu pessoal para a realização deste método de análise. Os treinamentos de Ensaio Não Destrutivos para o segmento da aeronáutica no Brasil são ministrados apenas no Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial.

O executor do ensaio adquire as competências e atribuições para a realização dos ensaios conforme sua experiência e escolaridade, e sua qualificação é distribuída em três níveis, onde cada nível possui atribuições específicas conforme descrito na NAS 410, 2008:

- **Nível 1- Limitado:** Esta qualificação permite apenas a realização do END em uma parte específica da peça, recursos de peça ou montagem. Nesta qualificação o técnico deve-se limitar a seguir as instruções e orientações dos técnicos de nível 2 e 3, realizar a preparação dos equipamentos antes e depois do ensaio, sempre em referência à instruções de trabalho aprovadas previamente.
- **Nível 1:** A qualificação de nível 1 se difere em relação ao Nível 1 Limitado, devido a possibilidade de permitir ao técnico realizar interpretações e avaliações de um produto específico de acordo com as instruções de trabalho aprovadas pelo Responsável Nível 3.
- **Nível 2:** A qualificação nível 2 permite ao técnico configurar e padronizar equipamentos, peças do processo, interpretar e avaliar a aceitação ou rejeição de produtos, além de permitir ao mesmo fornecer orientações ou supervisão aos técnicos Nível 1 e Nível 1 Limitado. O técnico nível 2 também pode desenvolver instruções de trabalho a partir de procedimentos gerais aprovados, porém as instruções de trabalho assim como os procedimentos devem ser aprovados por um técnico Nível 3.
- **Nível 3:** É a qualificação máxima em termos de Ensaio Não Destrutivo, com esta qualificação, o técnico pode assumir a responsabilidade técnica de uma instalação de END, sendo também capaz de selecionar o método e técnica para uma inspeção específica, capaz de preparar e verificar a adequação dos procedimentos e instruções de trabalho, aprovar os procedimentos de END e instruções de trabalho para a adequação técnica, além de poder fornecer treinamentos, exames e certificação de pessoal.

De acordo com a norma NAS 410 (2008), os candidatos a técnicos de END de nível 01 e nível 02, devem realizar o treinamento teórico e prático, específico ao método selecionado. A carga horária mínima deste treinamento de acordo com a norma está descrito na tabela 1.

Tabela 01 – Carga horária para qualificação dos END

<b>Método</b>	<b>Nível 01</b>	<b>Nível 02 com Certificação Nível 01</b>	<b>Nível 02 sem Certificação Nível 01</b>
<b>Líquido Penetrante</b>	16 h	16 h	32 h
<b>Partículas Magnéticas</b>	16 h	16 h	32 h
<b>Corrente Parasita</b>	40 h	40 h	80 h
<b>Ultrassom</b>	40 h	40 h	80 h
<b>Radiografia</b>	40 h	40 h	80 h
<b>Termografia</b>	20 h	40 h	60 h
<b>Interferometria</b>	20 h	40 h	60 h

Fonte: Norma NAS 410 (2008, pg. 10).

Além da carga horária para em treinamentos para a qualificação dos técnicos em Ensaios Não Destrutivos, os mesmos devem possuir tempo de experiência prática suficiente no método que iram utilizar. Para um técnico nível 01 limitado, o tempo de experiência na função não deve ser inferior a 25% da carga necessária para formação de um técnico nível 01 no método selecionado (NAS 410, 2008).

Os requisitos de experiência para os níveis 1 e 2 são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 02 – Tempo mínimo de experiência para qualificação dos técnicos em END.

Método	Tempo de Experiência em Horas		
	Nível 01 (Estagiário)	Nível 02 com Certificação Nível 01	Nível 02 sem Certificação Nível 01
<b>Líquido Penetrante</b>	130	270	400
<b>Partículas Magnéticas</b>	130	400	530
<b>Corrente Parasita</b>	400	1200	1600
<b>Ultrasom</b>	400	1200	1600
<b>Radiografia</b>	400	1200	1600
<b>Termografia</b>	200	600	800
<b>Interferometria</b>	200	600	800

Fonte: Norma NAS 410 (2008, pg. 13).

Para a qualificação de um técnico END no nível 03, o mesmo precisa apresentar registros de atuação na realização de ensaios (experiência na função), e não poderá ocorrer a qualificação para técnico nível 03 sem antes estar qualificado no nível 02. O tempo de experiência necessário para a qualificação é inversamente proporcional a sua escolaridade, conforme descrito na Tabela 03.

Tabela 03 – Tempo de experiência para qualificação dos Técnicos de nível 03.

Colégio ou Universidade	Nível 02 ou Experiência Equivalente
<b>Nenhuma</b>	4 Anos
<b>Dois anos de Engenharia ou Estudo Científico em escola técnica, Colégio ou Universidade</b>	2 Anos
<b>Três a Quatro anos de Engenharia ou Estudo Científico em escola técnica, Colégio ou Universidade</b>	1 Ano

Fonte: Norma NAS 410 (2008, pg. 13).

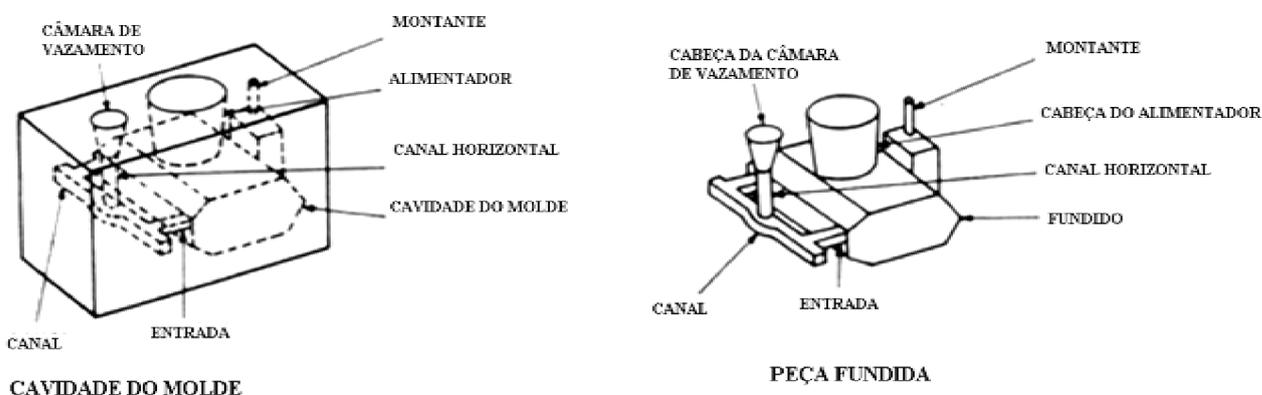
## 2.5 Processo de Fundição

Neste tópico, será descrito o processo de fundição por gravidade em um modelo de areia verde, que é o processo primário para fabricação dos componentes que este trabalho se propõe a analisar.

O processo de fundição se consiste basicamente no preenchimento de um molde feito de um material específico, com o metal liquefeito (fundido). Esta pode ser considerada uma etapa inicial de produção, pois a partir da fundição sairão componentes utilizados como matéria prima para outros processos (SILVA, 2009).

De acordo com Agostinho (2004), os vários processos de fundição se diferem principalmente quanto ao tipo de molde utilizado, como por exemplo, a moldagem em areia (Figura 07) ou a utilização de moldes permanentes (coquilhas). No caso de moldes em areia, é necessária inicialmente a confecção de um modelo da peça a ser fundida.

Figura 07 – Terminologia dos elementos do molde de fundição.

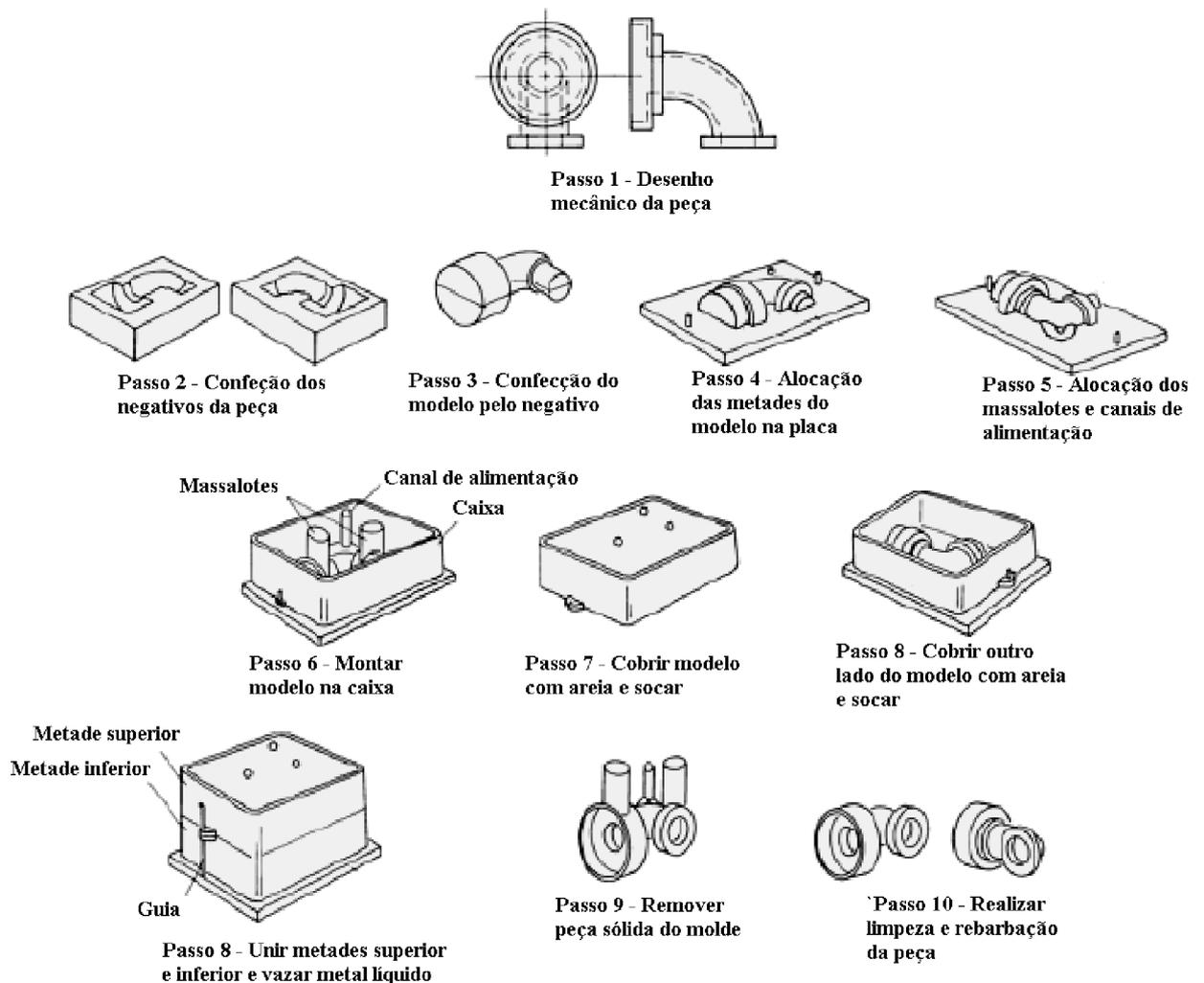


Fonte: Adaptado de: Agostinho (2004, pg. 11).

O modelo de fundição é geralmente constituído de alumínio, resina plástica, madeira, entre outros materiais, e possui as dimensões e formas da peça a ser fundida e prevendo a contração do material após a solidificação, a posição dos canais de alimentação por onde se escoar o material fundido para dentro do molde, massalotes cuja função principal é ceder material para a peça durante o processo de solidificação para evitar defeitos oriundos da contração da peça e o sobremetal para posterior usinagem (SILVA, 2009).

Segundo Agostinho (2004), o molde de fundição é feito através da compactação da areia, sobre o modelo de fundição formando assim uma “imagem negativa” da peça a ser fundida. O molde é feito em duas partes, inferior e superior, de modo que ao se encontrar formarem uma região oca em seu interior com o formato da peça desejada (Figura 08).

Figura 08 – Etapas da fundição



Fonte: Adaptado de: Verran (2013, pg. 06).

Após o molde estar pronto e o metal estar liquefeito, é iniciado o processo de vazamento, onde o molde já fechado recebe o metal líquido através de seus canais de alimentação até que esteja preenchido completamente. Após o resfriamento do metal, o molde de areia é quebrado para remoção da peça de seu interior, que irá passar por etapas

subsequentes de limpeza, rebarbação, usinagem, e demais processos produtivos (SILVA, 2009).

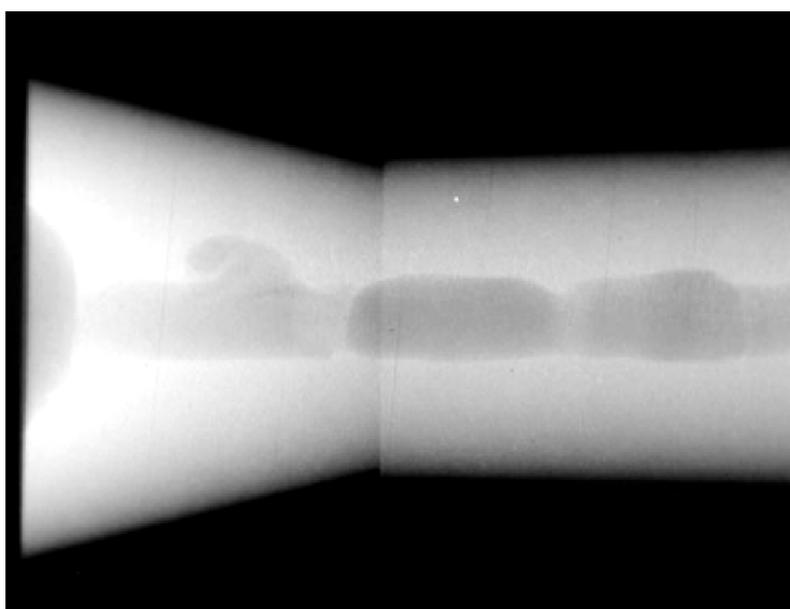
## 2.6 Principais defeitos da fundição em alumínio.

Segundo Kolososki (2001), os defeitos mais comuns da fundição em alumínio ocorrem devido a suas características metalúrgicas, tais como o elevado percentual de contração do material, a alta solubilidade do hidrogênio enquanto o metal está em estado líquido, alta reatividade do alumínio com o oxigênio do ar e com o vapor de água, e a baixa densidade do material. Dentre os defeitos mais comuns da fundição temos os rechupes, as microporosidades, inclusão de óxidos e bolhas de ar.

O mesmo autor ainda descreve estes defeitos da seguinte maneira:

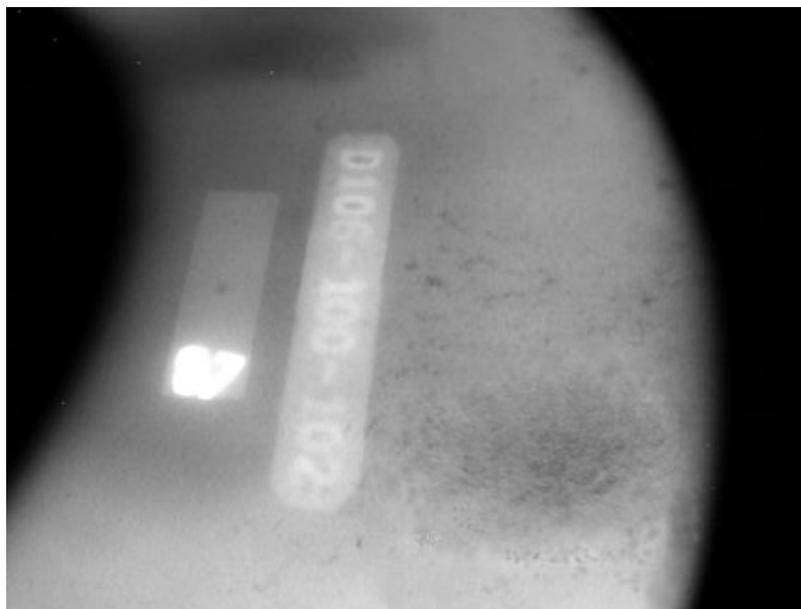
- a) Os rechupes (Figura 09) ocorrem devido à contração do material durante a fase de solidificação, e são aparentes nas ultimas áreas da peça onde ocorre o resfriamento, e esse defeito é decorrente de falhas no projeto de fundição, por não direcionar a solidificação para os massalotes, que tem a função de ceder material para a peça durante o processo de solidificação para evitar este tipo de defeito oriundo da contração.

Figura 09 – Radiografia de um defeito de fundição: Rechupe.



- b) As microporosidades (Figura 10) podem ter origem no hidrogênio, que é altamente solúvel na liga de alumínio enquanto no estado líquido, porém pouco solúvel no alumínio sólido, criando assim regiões com vazios internos após a solidificação da peça.

Figura 10 – Radiografia de um defeito de fundição: Microporosidade (Textura Esponja).



Fonte: NDT Resource Center. (2013, pg. 01).

- c) As Inclusões de óxidos (Figura 11) têm início durante o processo de fusão do alumínio, que devido a sua grande afinidade com o oxigênio, cria uma camada sobre o metal líquido de óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), que é incorporado à peça durante a etapa de vazamento do molde, provocando defeitos da peça fundida.

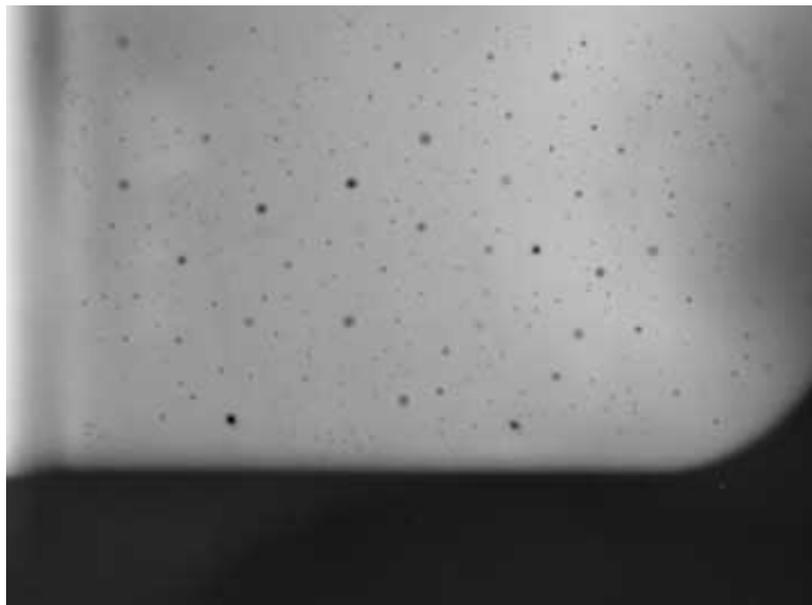
Figura 11 – Radiografia de um defeito de fundição: Inclusões.



Fonte: NDT Resource Center. (2013, pg. 01).

- d) As bolhas de ar (Figura 12) são provenientes basicamente devido à turbulência do alumínio durante a alimentação do molde de fundição com o material fundido.

Figura 12 – Radiografia de um defeito de fundição: Bolhas de ar.



Fonte: NDT Resource Center. (2013, pg. 01).

## 2.7 Elemento Radiografado.

Segundo a OLDI – indústria e comércio de instrumentos e peças de aviões, a válvula seletora de combustível de uma aeronave agrícola (Figura 13) consiste basicamente de um corpo em alumínio contendo três conexões roscadas principais por onde flui o combustível que alimentará o motor da aeronave. No interior deste corpo há três furos perpendiculares que coincidem com as conexões roscadas.

Figura 13 – Válvula de combustível de alumínio fundido

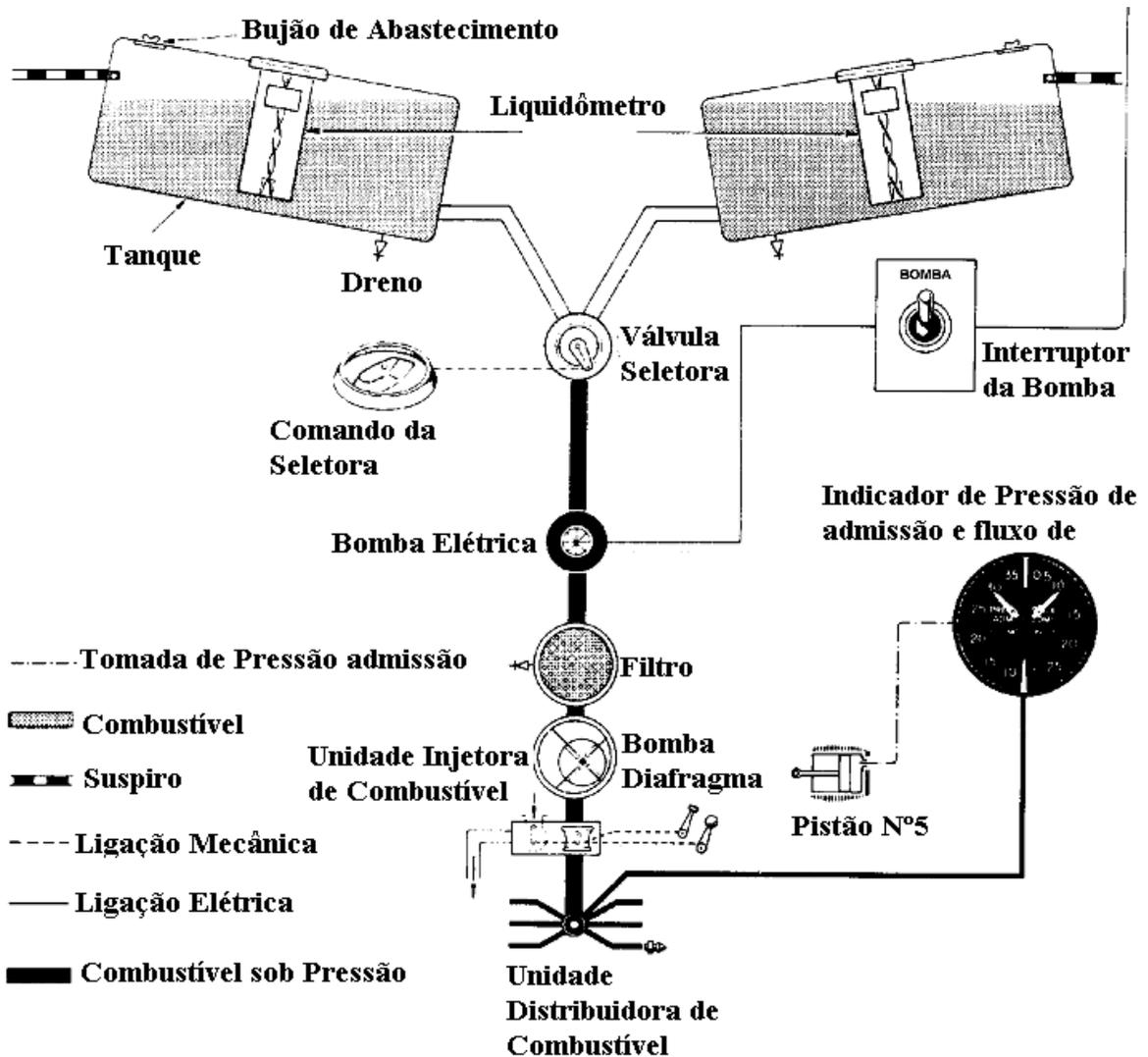


Fonte: O autor.

Ainda segundo o mesmo autor, a válvula seletora de combustível é fundida em liga de alumínio e posteriormente usinada, e tem por finalidade efetuar a seleção de qual reservatório de combustível será utilizado na alimentação do motor, tendo em vista que estes reservatórios se localizam nas asas da aeronave (Figura 14), portanto utiliza-se esta válvula para equalizar o consumo de combustível entre os reservatórios da aeronave a fim de mantê-la em equilíbrio. Esta válvula tem capacidade para operar em três posições distintas, e esta seleção é realizada manualmente com a finalidade de permitir:

- a) Cortar o combustível para o motor.
- b) Selecionar o combustível do Tanque Principal Direito.
- c) Selecionar o combustível do Tanque Principal Esquerdo.

Figura 14 – Sistema de Combustível de uma aeronave



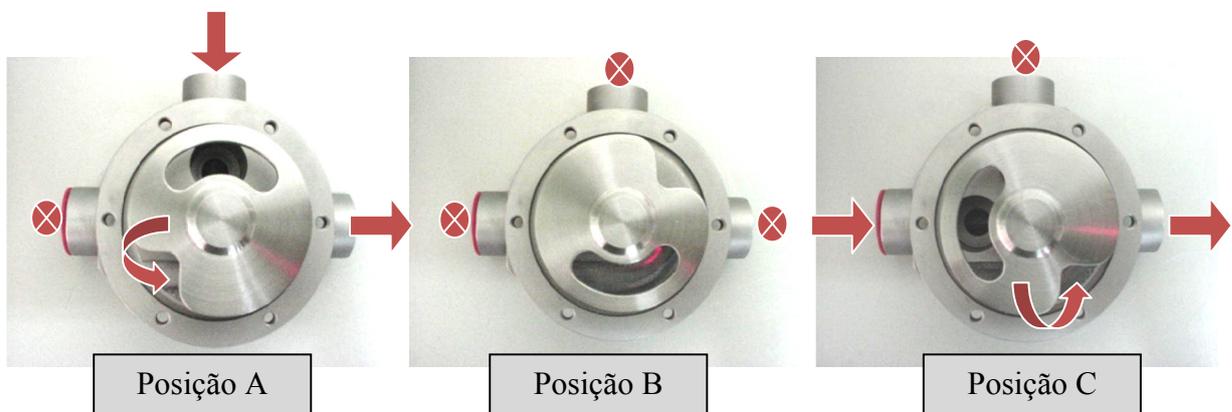
Fonte: Manual de Serviços EMB 202 (2005, pg. 28-5).

Segundo a OLDI – indústria e comércio de instrumentos e peças de aviões, a válvula seletora de combustível é atuada manualmente conforme necessidade do piloto da aeronave. Ao girar o seletor, este movimentava um disco que possui um rasgo no formato de semicírculo, apoiado sobre três pistões de polímero, alojados no corpo da válvula. Cada um destes pistões possui uma passagem de combustível específica para uma das conexões roscadas da válvula.

Ao movimentar o disco, o rasgo deste, coincide com a passagem de combustível do pistão, liberando a passagem de combustível do reservatório desejado, ou pode-se também movimentar o disco de modo que seu rasgo não coincida com nenhum dos pistões fazendo com que seja interrompida a passagem de combustível ao motor.

Na Figura 15 a válvula aparece aberta, em suas posições de uso, na posição “A”, ela está permitindo a passagem de combustível da asa esquerda para o motor da aeronave, bloqueando a passagem do reservatório da asa direita. Na posição “B” a válvula esta em sua posição fechada, bloqueando a passagem de combustível de ambas as asas, e na posição “C” a válvula está permitindo a passagem de combustível da asa direita para o motor da aeronave, bloqueando a passagem do reservatório da asa esquerda.

Figura 15 – Válvula de Combustível sem a tampa, em suas posições de uso



Fonte: O autor.

## 2.8 Classificação do fundido

De acordo com a norma SAE AMS 2175A (2010), a qual descreve como é realizada a classificação de peças fundidas para inspeção, a válvula seletora de combustível foi enquadrada de acordo com suas características de projeto na Classe 2 – Grau B.

Segundo a SAE AMS 2175A (2010, p. 01):

Classe 2: A fundição, a única falha que resultaria em uma pena operacional significativa. No caso dos mísseis, aeronaves e outros veículos, o que inclui a perda de componentes principais, a liberação não intencional ou incapacidade de liberar lojas de armamento, ou falha de componentes de instalação de armas.

Ainda de acordo com a SAE AMS 2175A (2010, p. 02):

Grau B: O segundo mais alto grau de qualidade de carcaça, ou área de um fundido, que permite um pouco mais de descontinuidades em relação ao Grau A, é difícil de produzir, exceto em áreas locais.

## 2.9 Definição do tamanho da amostragem

Para determinação do tamanho da amostra que deve ser analisada, a norma SAE AMS 2175A (2010), define a amostragem de acordo com a classe definida para o fundido e o tamanho do lote fabricado:

- Classe 1 - Cada fundição deve ser completamente examinada.
- Classe 2 - Fundidos serão selecionados de acordo com a Tabela 1 da norma.
- Classe 3 - Fundidos serão selecionados de acordo com a Tabela 2 da norma.
- Classe 4 - O exame radiográfico não é necessário a menos que especificado o contrário.

Para este estudo foi selecionado um lote de fabricação de 05 (cinco) peças, que de acordo com a classificação definida, chegou-se a necessidade de inspecionar todas as peças deste lote conforme descrito na tabela 04.

Tabela 04 – Tamanho da amostra para ensaio radiográfico de fundidos classe 2.

<b>Tamanho do Lote</b>	<b>Amostra</b>	<b>Tamanho do Lote</b>	<b>Amostra</b>
02 - 05	Todas	27 - 36	10
06 - 08	05	37 - 51	11
09 - 11	06	52 - 82	12
12 - 15	07	83 - 162	13
16 - 20	08	163 - 971	14
21 - 25	09	972 e acima	15

## 2.10 Parâmetros para análise radiográfica

A norma SAE AMS 2175 (2010), descreve os tipos de descontinuidades que podem ser encontradas nas peças fundidas em alumínio, e seus respectivos graus máximos permitidos de acordo com a classe do fundido (Tabela 05). Esta norma também define a terminologia utilizada para a inspeção em peças fundidas:

- a) Defeito: Uma descontinuidade ou condição que excede os limites permissíveis do projeto da peça. Defeitos são, por definição, inaceitáveis.
- b) Descontinuidade: A interrupção na estrutura física normal, tal como uma fenda, inclusão, ou porosidade, que pode ou não afetar a capacidade de utilização da peça.
- c) Buracos gás: É um vazio redondo ou alongado de maior tamanho, que pode ocorrer individualmente, em grupos, ou distribuído por todo o interior da peça. É geralmente causado por ar ou outros gases presos durante a solidificação do fundido.
- d) Porosidade gasosa: Pequenos espaços vazios distribuídos ao longo de toda uma região da peça fundida, formando uma região menos densa no material. São geralmente causados por ar ou por gases originários do material metálico ou molde durante a solidificação.
- e) A contração em cavidade: Um vazio dentro de uma seção da peça fundida, causado pela alimentação insuficiente de metal líquido, que durante a solidificação reduziu o volume do metal na área. A contração em cavidades aparece na radiografia como uma área escura e delineada, que têm dimensões irregulares.
- f) Contração esponjosa: A contração esponjosa se refere a uma rede de pequenos espaços vazios que se formam durante a solidificação. Esta contração é geralmente concentrada abaixo da superfície, mas pode estender-se a superfície. Na inspeção radiográfica, esta descontinuidade pode aparecer

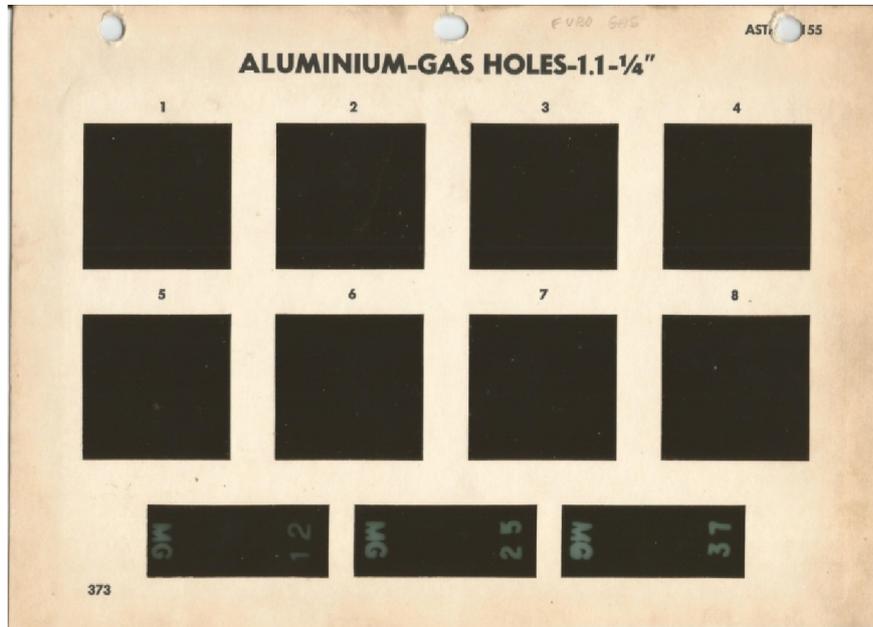
como manchas escuras irregulares, como faixas escuras de “contornos de pena”, como uma área escurecida tipo “colméia”, ou como uma mancha difusa.

- g) Material Estranho: É um material diferente do especificado para a liga de metal, tipicamente óxidos, ou um metal de densidade diferente. Indicações de material estranho aparecem como variações isoladas, irregulares ou alongadas, e de densidade divergente durante a inspeção do filme radiográfico.
- h) Inclusões: São partículas de um material diferente da composição química prevista para a liga, tal como o material do molde (areia), escórias de material, etc., e que são incorporadas na fundição.
- i) Trinca: A separação (ruptura ou fratura) do metal no estado sólido que produz uma indicação linear, claramente observada durante ensaios não destrutivos.
- j) Junta Fria: Uma junção imperfeita entre dois fluxos de metal no molde, causado pela refrigeração muito rápida da superfície das correntes de metal derretido. Esta descontinuidade pode ter a aparência de uma fenda ou uma volta com extremidades lisas ou arredondadas. A junta fria pode ser um exemplo de descontinuidades que produz uma indicação linear
- k) Irregularidades da superfície: Qualquer anomalia seja positiva (elevada) ou negativa (rebaixo) da superfície normal.
- l) Desencontro: O movimento de uma das metades do molde pode gerar o desencontro das mesmas, afetando assim o perfil da peça fundida.

Para realizar a análise visual da radiografia em peças fundidas em alumínio, é utilizada a norma ASTM E 155, a qual possui um padrão visual de cada defeito de fundição baseado em filmes radiográficos de descontinuidades conhecidas (Figura 16 e 17), que são utilizados como referências para interpretação de ensaios realizados, onde posteriormente

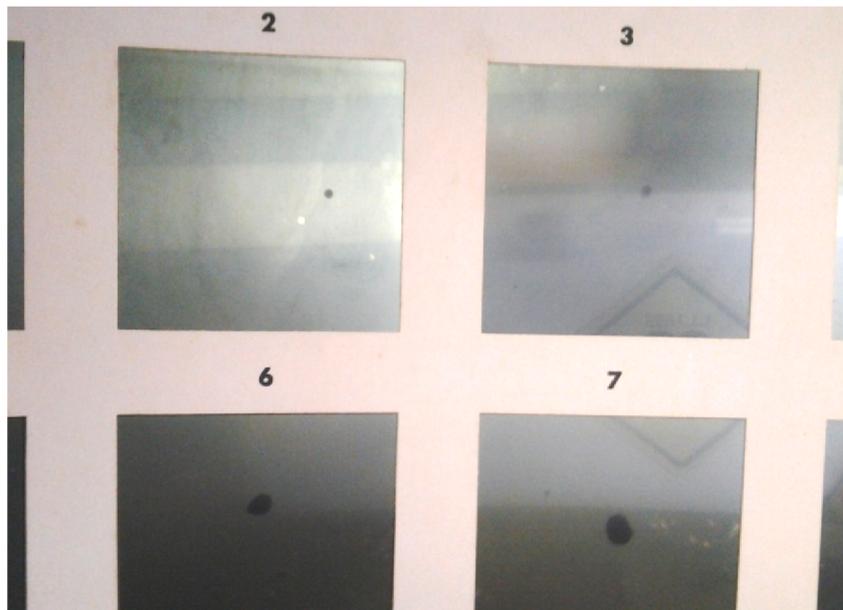
serão comparados com o nível máximo permissível de defeitos de fundição de acordo com a norma específica para o material e a classificação do fundido (Tabela 05).

Figura 16 – Padrão de referência ASTM E155 para buracos de gás em alumínio.



Fonte: Padrão de referência ASTM E155.

Figura 17 – Padrão de descontinuidades de buracos de gás de nível 2, 3, 6 e 7.



Fonte: Padrão de referência ASTM E155.

Tabela 05 – Níveis máximos de descontinuidades permitidos em ensaio radiográfico para fundição de alumínio de acordo com ASTM E 155.

Descontinuidade	Grau A		Grau B		Grau C		Grau D	
	1/4	3/4	1/4	3/4	1/4	3/4	1/4	3/4
Buracos de Gás	Nenhuma	Nenhuma	1	1	2	2	5	5
Porosidade de Gás (Redondo)	Nenhuma	Nenhuma	1	1	3	3	7	7
Porosidade de Gás (Alongado)	Nenhuma	Nenhuma	1	2	3	4	5	5
Contração em Cavidade	Nenhuma	Nenhuma	1	3	2	4	3	5
Contração Esponjosa	Nenhuma	Nenhuma	1	1	2	2	4	3
Material Estranho (Menos Denso)	Nenhuma	Nenhuma	1	1	2	2	4	4
Material Estranho (Mais Denso)	Nenhuma	Nenhuma	1	1	2	1	4	3
Trincas	Nenhuma	Nenhuma	1			Nenhuma		
Junta Fria	Nenhuma	Nenhuma	1			Nenhuma		
Irregularidade Superficial	Nenhuma	Nenhuma	1			Não exceder tolerância do desenho		
Desencontro	Nenhuma	Nenhuma	1			Não exceder tolerância do desenho		

Fonte: SAE AMS 2175A (2010, pg. 14).

## CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA.

### 3.1 Qualificação do executor do ensaio

A sistemática para execução do ensaio radiográfico foi definida por um engenheiro com a qualificação nível 3 para realização do END por Raios X pelo DCTA, estando de acordo com as atribuições da norma NAS 410. Esta qualificação lhe permitiu selecionar o método e técnica para o ensaio, além da criação da instrução de trabalho para realização deste ensaio específico.

### 3.2 Materiais

Os materiais utilizados foram selecionados de acordo com a instrução de trabalho elaborada pelo engenheiro responsável, que prevê os seguintes itens para realização do ensaio radiográfico:

- a) Máquina Utilizada: Tubo Comet (Figura 18);  
Tensão nominal: 300 kV;  
Dimensão do foco: 3 mm;
- b) Filme: Kodak classe 02;
- c) Indicador de qualidade de imagem: IQI de fio 10 AL EN. (Sens. 0,15 mm).

Figura 18 – Tubo de Raios X Comet.



Fonte: Comet-Xray Products.

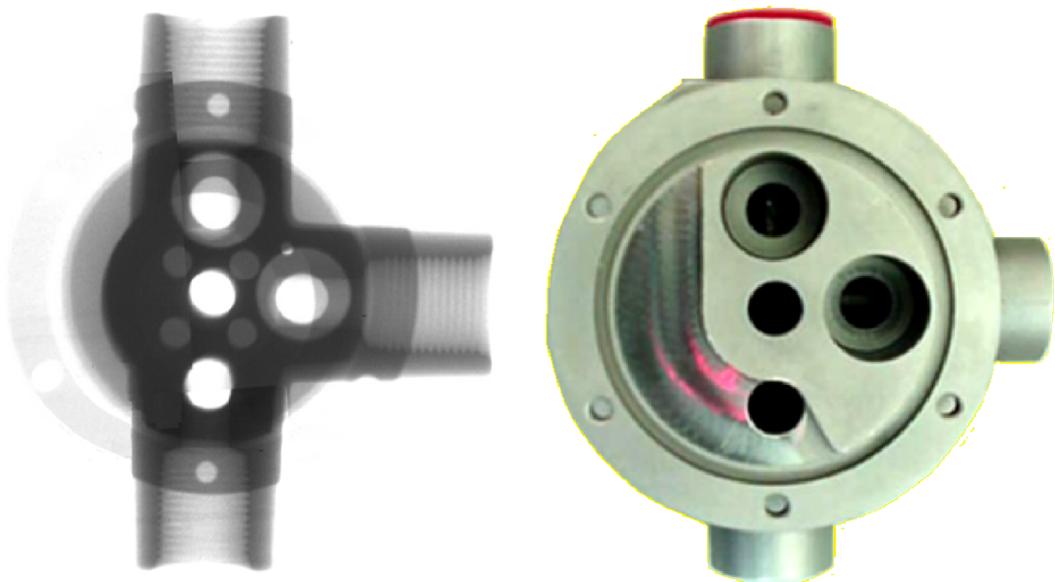
Os parâmetros utilizados para realização do ensaio radiográfico:

- a) Norma de interpretação: ASTM E 155 – 2010;
- b) Distância Foco Filme: (D.F.F.) 700 mm;
- c) Técnica: Radioscopia e Radiografia;
- d) Tensão utilizada no ensaio: 100 kV;
- e) Corrente utilizada no ensaio: 04 mA;
- f) Tempo de Exposição: 70s.

### 3.3 Análises

O ensaio radiográfico gerou inicialmente os filmes com as imagens da válvula de combustível. A partir das imagens obtidas (Figura 19), o engenheiro qualificado pelo DCTA realizou visualmente o comparativo entre as imagens e o padrão de referência da norma ASTM E 155, resultando no laudo do ensaio radiográfico (Tabela 06), que também descreve todos os materiais e equipamentos envolvidos durante o ensaio.

Figura 19 – Imagem radiográfica e peça radiografada.



Fonte: O autor

Tabela 06 – Laudo radiográfico.

<b>RELATÓRIO DE INSPEÇÃO RADIOGRAFICA Nº: 4360/13</b> Radioscopic Testing Report nº							<b>FL nº 01/01</b> Sheet nº				
<b>Cliente:</b> Indústria Aeronáutica Ltda. Client:				<b>NFF:</b> 2.181		<b>Data:</b> 18/07/13 Date:					
<b>Identificação da Peça:</b> Corpo da Seletora PN-37.916 (Corrida: 1306058) Part Identification:				<b>Procedimento Técnico:</b> IT/7.5.1/102 – Nível 4 Technical Procedure:							
<b>Norma de Interpretação:</b> ASTM E 155 – revisão 2010 Interpretation Standard:				<b>Material:</b> Alumínio sob gravidade Material:							
<b>Filme:</b> Kodak classe 02 Film Class:		<b>Tipo de Ecran:</b> Chumbo Screens type: Pb		<b>Frontal:</b> N/A Front:		<b>Atrás:</b> N/A Back:					
<b>D.F.F:</b> 700 mm S.F.D.:		<b>kV:</b> 100		<b>mA:</b> 04		<b>Tempo:</b> 70s Time:					
<b>Tipo de Radiação:</b> RAIOS X Radiation Type: X ray		<b>Descontinuidades:</b> (descontinueis)						<b>LEGENDA</b>  A= APROVADA Approved  R = Reprovado Not Approved			
<b>Equipamento:</b> Comet Equipment:		TR=TRINCA Crack		RE=RECHUPE Shrinkage		PO=POSIDADE Porosity					
<b>Potência:</b> 300 kV Potency:		JF=JUNTA FRIA Cold fill		ME= MATERIAL ESTRANHO Foreign Material		BG= BOLHA DE GÁS Gas Holes					
<b>Dimensão do Foco:</b> 3,0mm Focal Spot:		IA=INCLUSÃO DE AREIA Sand inclusion		N/A Não Aplicável		O=OUTROS Others					
Pos nº Position nº	identificação Identification	TR	RE	PO	IA	JF	ME	BG	O	LAUDO	
										A	R
Única	Peça 20	-	-	N1	-	-	-	-	-	X	
Única	Peça 22	-	N1	N2	-	-	-	-	-	X	
Única	Peça 26	-	N1	N2	-	-	-	-	-	X	
Única	Peça 29	-	N1	N1	-	-	-	-	-	X	
Única	Peça 30	-	N1	N1	-	-	-	-	-	X	
Qtde. Total Inspeccionada: 05 Quantily Count Examination		Aprovadas: 05 Approved				Reprovadas: 00 Not Approved					

**Observação:** (-) = Não apresenta descontinuidade neste item.

Utilizado IQI de fio 10 AL EN, visualizado o fio numero 14, garantindo sensibilidade de 0,15mm.

Fonte: O autor

O laudo resultante da análise feita pelo engenheiro responsável definiu inicialmente quais os tipos de descontinuidade e o tamanho das mesmas que incidiram sobre as válvulas de alumínio analisadas. Após isto estes dados são comparados com os requisitos da norma SAE AMS 2175A, que define o tamanho máximo permissível para cada tipo de descontinuidade de acordo com a liga metálica fundida, que neste caso foi o alumínio, e a classificação que este componente recebeu de acordo com sua aplicação (Tabela 08).

Tabela 08 – Níveis máximos de descontinuidades permitidos para fundidos grau B.

Descontinuidade	Grau A		Grau B		Grau C		Grau D	
	1/4	3/4	1/4	3/4	1/4	3/4	1/4	3/4
<b>Buracos de Gás</b>	Nenhuma	Nenhuma	1	1	2	2	5	5
<b>Porosidade de Gás (Redondo)</b>	Nenhuma	Nenhuma	1	1	3	3	7	7
<b>Porosidade de Gás (Alongado)</b>	Nenhuma	Nenhuma	1	2	3	4	5	5
<b>Contração em Cavidade</b>	Nenhuma	Nenhuma	1	3	2	4	3	5
<b>Contração Esponjosa</b>	Nenhuma	Nenhuma	1	1	2	2	4	3
<b>Material Estranho (Menos Denso)</b>	Nenhuma	Nenhuma	1	1	2	2	4	4
<b>Material Estranho (Mais Denso)</b>	Nenhuma	Nenhuma	1	1	2	1	4	3
<b>Trincas</b>	Nenhuma	Nenhuma	1		Nenhuma			
<b>Junta Fria</b>	Nenhuma	Nenhuma	1		Nenhuma			
<b>Irregularidade Superficial</b>	Nenhuma	Nenhuma	1		Não exceder tolerância do desenho			
<b>Desencontro</b>	Nenhuma	Nenhuma	1		Não exceder tolerância do desenho			

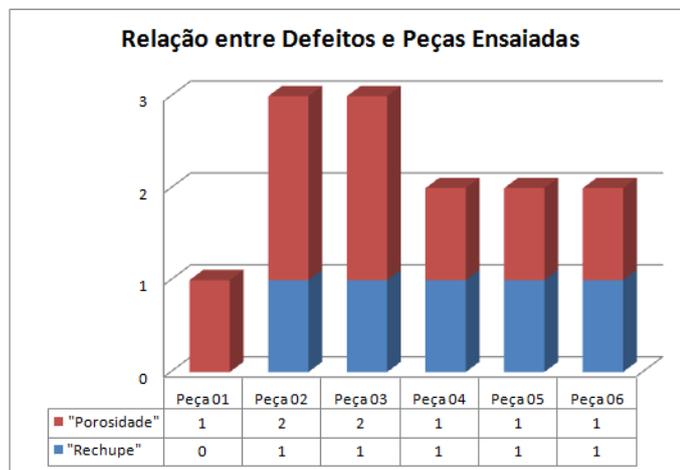
Fonte: SAE AMS 2175A (2010, pg. 14).

## CAPÍTULO 4 – RESULTADOS OBTIDOS.

Das cinco peças ensaiadas, se obteve um aproveitamento total das mesmas durante o ensaio, todas apresentaram indicações de porosidade, porem com nível máximo de N2 enquanto o máximo permitido por peça SAE AMS 2175A é também N2 (Figura 20).

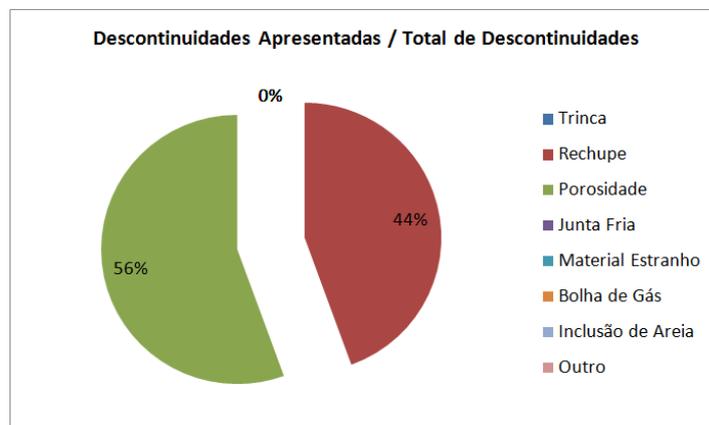
Outra indicação visualizada durante o ensaio foram os rechupes (Contração esponjosa), onde apenas quatro peças apresentaram indicações de nível N1, quando o permitido por norma também é nível N1 (Figura 21).

Figura 20 – Gráfico das Descontinuidades apresentadas nas peças.



Fonte: O autor

Figura 21 – Gráfico de incidência de descontinuidades.



Fonte: O autor

## **CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES.**

O componente fundido em alumínio foi classificado como Classe 2 e grau B de acordo com a norma SAE AMS 2175A, esta classificação definiu as descontinuidades toleráveis no fundido, e o tamanho máximo permissível para as descontinuidades encontradas durante a inspeção radiográfica das peças. O ensaio radiográfico assim como toda sistemática para sua realização foi elaborado por um engenheiro responsável qualificado de acordo com a NAS 410, atendendo as normas internacionais citadas durante este trabalho.

As imagens resultantes do ensaio foram analisadas e comparadas com o padrão radiográfico de referência da norma ASTM E155, a fim de definir o tamanho das descontinuidades no material fundido para gerar o laudo do ensaio. Os valores descritos no laudo foram comparados com o tipo de descontinuidade e seu nível máximo permitido respectivamente de acordo com a norma SAE AMS 2175A que descreve as descontinuidades características do alumínio fundido.

As indicações características das ligas fundidas em alumínio como rechupes e porosidades, incidiram sobre todas as peças, porém em quantidades permitidas por norma conforme descrito na análise, demonstrando assim que o processo de fundição de alumínio, assim como o projeto do modelo e demais fatores que impactam diretamente na qualidade da peça fundida, atende completamente as exigências normativas e o rígido controle de qualidade do segmento aeronáutico, confirmando que o produto está completamente apto à utilização em condições de voo.

## CAPÍTULO 6 – REFERÊNCIAS.

AGOSTINHO, Oswaldo Luis, **Processo de fabricação e Planejamento de Processo**, Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, 2004.

ANDREUCCI, Ricardo, "**Curso Básico de Proteção Radiológica – Aspectos Industriais**", São Paulo, ABENDE, Set./2001. Disponível em: < <http://www.portalf.com.br/trabalhos/doc/3-protectoradiologica.pdf> >. Acesso em: 08 ago. 2013.

ANDREUCCI, Ricardo, "**A Radiologia Industrial**", São Paulo, ABENDE, 6ª Edição, Jan./2003. Disponível em: < [http://www.fisica.net/nuclear/radiologia\\_industrial.pdf](http://www.fisica.net/nuclear/radiologia_industrial.pdf) >. Acesso em: 08 ago. 2013.

ANDREUCCI, Ricardo, apostila "**Iniciação a Radiologia Industrial**", São Paulo, Curso de Extensão UNINOVE, Mar./2006. Disponível em: < [http://www.playmagem.com.br/radiologia/radiologia\\_industrial.pdf](http://www.playmagem.com.br/radiologia/radiologia_industrial.pdf) >. Acesso em: 08 ago. 2013.

ANDREUCCI, Ricardo, "**A Radiologia Industrial**", São Paulo, ABENDI, Edição Ago./2012. Disponível em: < [http://www.abendieventos.com/Download/radiologia\\_ind.pdf](http://www.abendieventos.com/Download/radiologia_ind.pdf) >. Acesso em: 08 ago. 2013.

ASTM E155 – **Standard Reference Radiographs for Inspection of aluminium and Magnésium castings**. American Society for Testing and Materials, 2010.

ASTM E1742 – **Standard Prattice for Radiographic Examination**. American Society for Testing and Materials, 2012.

BELTRAN, Dalton José Menezes Cuevas, **Estudo da influência do retroespalhamento de Raios X em materiais na qualidade da imagem da radiografia computadorizada**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010.

COMET XRAY, **X-Ray tube MIR-300E**. Disponível em: < <http://www.comet-xray.com/Products-en/X-Ray-Tubes/MIR-300E?focalspotaccen12543=d%20=%203.0%20mm> >. Acesso em: 08 nov. 2013.

CARDOSO, Roberto. **Estudo sobre a incidência das porosidades e sua identificação em uma liga de alumínio A356** / R. Cardoso. São Paulo, 2007.

EMBRAER – EMPRESA BRASILEIRA DE AERONÁUTICA - **Manual de Serviços MS – 202 - Aeronave EMB-202**, Ago. / 2005.

FUOCO, R. **Efeito do tratamento de modificação na formação de microporosidade em ligas de alumínio A356**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1996. 300 p. Tese (Doutorado).

KOLOSOSKI, Jorge, **Estudo de sistema de canais para fundição de ligas de alumínio por gravidade** / Jorge Kolososki. Campinas - São Paulo, 2001.

MARTINS, Roberto de Andrade, “**A Descoberta dos Raios X: O Primeiro Comunicado de Röntgen**” Revista Brasileira de Ensino de Física vol. 20, no. 4, Dez, 1998

NAS 410, **NAS Certification & Qualification of Non Destructive Test Personnel**. National Aerospace Non Destructive Testing Working Group; mar./2008

NDT RESOURCE CENTER. **Radiograph Interpretation - Castings**. . Disponível em: <[http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Radiography/TechCalibrations/RadiographInterp\\_Castings.htm/](http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Radiography/TechCalibrations/RadiographInterp_Castings.htm/)>. Acesso em: 07 set. 2013.

OLDI – INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE INSTRUMENTOS E PEÇAS DE AVIÕES, **Manual de revisão e catálogo ilustrado de peças da válvula seletora de combustível - MIT 28 20 01**, São Paulo, abril de 1984

PEREIRA, João Adriano Vieira, “**Estudo e Aplicação de Ensaios Não Destrutivos Líquidos penetrantes, Ultrasons, Radiografia digital – Técnica tangencial medição de espessuras**”, FEUP - Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Portugal, mar./2013.

PEREIRA, Paulo Salvador, “**Desenvolvimento da Aplicação da Radioscopia em Ensaio Não Destrutivos**”, FEUP - Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Portugal, jun./2009.

RÖNTGEN, Wilhelm Conrad. **Über eine neue Art von Strahlen (Vorläufige Mitteilung)**. Sitzungsberichte der physikalisch-medicinischen Gesellschaft zu Würzburg (9), 132 (1895)

SAE AMS 2175A – **Castings, Classification and Inspection of**. Society of Automotive Engineers, Aerospace Material Specification, 2010.

SILVA, Jaques Jonas Santos, **Apostila de Processos de Fabricação III – Fundição** / Jaques Jonas Santos Silva. 1. ed. – Rio de Janeiro, 2009.

SILVA, V.F. **Comportamento da liga de alumínio A356-T6 fundida tixoextrudada sob fadiga isotérmica e temomecânica**. São Carlos, 2004. 177p. Tese (Doutorado) – Área interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo.

VASCONCELOS, Marcos Gilberto de, “**Uma retrospectiva histórica e conceitual da estrutura atômica**”, DEFIJI – Departamento de Física de Ji-Paraná, Jul./2009

VERRAN, Guilherme O. **Aula 10 – Processos de moldagem em areia verde**. Disponível em:

<[http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/verran/materiais/Aula\\_10\\_Processos\\_de\\_Moldagem\\_em\\_Areia\\_a\\_Verde.pdf](http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/verran/materiais/Aula_10_Processos_de_Moldagem_em_Areia_a_Verde.pdf)>. Acesso em: 06 nov. 2013.