

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS,
METALÚRGICA E DE MATERIAIS - PPGE3M**

JONI MOISÉS ERMEL

**USO DE SUCATA PARA FUNDIÇÃO SOB PRESSÃO DE PEÇAS PARA
CALÇADOS E ACESSÓRIOS**

**Porto Alegre
2017**

JONI MOISÉS ERMEL

**USO DE SUCATA PARA FUNDIÇÃO SOB PRESSÃO DE PEÇAS PARA
CALÇADOS E ACESSÓRIOS**

Trabalho realizado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGE3M), da Escola de Engenharia da UFRGS, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Processos de Fabricação.

Orientador: Alexandre da Silva Rocha

Coorientadora: Cláudia Trindade Oliveira

**Porto Alegre
2017**

Ficha Catalográfica

E71u Ermel, Joni Moises
Uso de sucata para fundição sob pressão de peças para calçados e acessórios / Joni Moises Ermel. – 2017.
91 f. : il. color.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Porto Alegre, BR-RS, 2017.
Orientador: Alexandre da Silva Rocha.
Coorientador: Cláudia Trindade Oliveira.

1. Fundição sob pressão. 2. Zamac. 3. Reciclagem. I. Rocha, Alexandre da Silva, orient. II. Oliveira, Cláudia Trindade, coorient. III. Título.

CDU: 669-14(043)

JONI MOISÉS ERMEL

**USO DE SUCATA PARA FUNDIÇÃO SOB PRESSÃO DE PEÇAS PARA
CALÇADOS E ACESSÓRIOS**

Esse trabalho foi julgado adequado para a obtenção do título de mestre em Engenharia, área de concentração de Processos de Fabricação e aprovada em sua forma final, pelo Orientador e pela Banca Examinadora do Curso de Pós-graduação.

Alexandre da Silva Rocha

Carlos Pérez Bergmann

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Rejane Maria Candiota Tubino (Doutora) – UFRGS

Vinicius Karlinski de Barcellos (Doutor) – UFRGS

Fabiano André Trein (Doutor) - Unisinos

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela luz em todos os dias da minha vida e pela força para superar todos obstáculos.

A minha Esposa e companheira, minha parceira em todas dificuldades, vitórias e conquistas, pelo amor, dedicação, apoio e carinho.

A minha família, pelo apoio, preocupação e carinho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul e a Universidade Feevale.

Aos meus colegas de graduação, ensino médio e fundamental, que em momentos difíceis e conturbados sempre ofereceram ajuda e apoio, possibilitando hoje obter esta conquista.

Ao meu orientador Dr. Alexandre da Silva Rocha, pela atenção e dedicação.

A minha coorientadora Dra. Claudia Trindade Oliveira, por mais que me orientar, pelo apoio, dedicação e por todo tempo dispendido para ajudar nesta dissertação.

A Luciane Führ, pelo apoio, incentivo e por apresentar a agora também minha “Mestra”, a professora Dra. Cláudia Trindade Oliveira.

A Metalúrgica Daniel, o Ex-Gerente Márcio e a Diretora Débora por possibilitar a realização deste Mestrado.

A todos amigos que de uma maneira ou outra contribuíram para conclusão desta dissertação.

Escolha sempre o caminho que pareça o melhor, mesmo que seja o mais difícil; o hábito brevemente o tornará fácil e agradável.

Pitágoras

RESUMO

As peças fundidas sob pressão com Zamac Z5 no formato de peças técnicas com galvanoplastia em Cromo, rejeitadas durante o processo são encaminhadas para beneficiamento, como sucata, na empresa fornecedora de Zamac. No entanto, durante o beneficiamento, somente 35% do material enviado retorna para empresa, assim 65% do peso deste material é perdido. A matéria-prima é um dos principais custos da empresa, apresentando assim uma grande oportunidade de economia no processo de fabricação. O objetivo desse trabalho é verificar a viabilidade de fundição das peças técnicas rejeitadas, como matéria-prima para a fabricação de peças de moda. As sucatas foram analisadas quanto a sua composição química, microestrutura e análise térmica. Com esta sucata foram fundidas sob pressão peças de moda usadas em calçados e acessórios, fivelas e enfeites, com estes foram realizadas análises de microestrutura e ensaios de corrosão, propriedades mecânicas e ainda testes de desempenho pertinentes as suas aplicações. As amostras fundidas com 100% de sucata responderam de forma satisfatória a todos os ensaios, em alguns casos de maneira superior às peças de controle fundidas com matéria-prima virgem. Evidenciou-se que a sucata, oriunda de peças técnicas com galvanoplastia em Cromo, pode ser usada como matéria-prima para confecção de peças de moda, fivelas e enfeites, apresentando assim uma redução de 30% no custo de fabricação das mesmas.

Palavras-chave: Sucata. Redução de custos. Zamac. Fundição Sob Pressão. Calçados e acessórios.

ABSTRACT

In the production of Zamac Z5 metal parts by pressure casting, which are normally chrome electroplated, some of those end up being rejected and, as a consequence, returned as scrap to the Zamac supplier companies. However, from the supplier after reprocessing, only 35% of the material returns to be used in the manufacturing. So, 65% of this material weight is lost. The raw material is one of the main costs of the company, presenting a great opportunity for savings in the manufacturing process. The objective of this research is to check the viability of feeding the casting process with rejected parts, reusing them as raw material for fashionable accessories manufacturing. The scraps have been analyzed for verification of the chemical composition, microstructure and submitted to thermal analysis. These scraps were used as basis to die casted parts which were used in the manufacturing process of footwear, accessories, buckles and frills. Microstructure, mechanical testing, relevant performance and corrosion tests were carried out according with the parts applications. The samples manufactured with 100% scrap have had satisfactory results to all the tests, in some cases in a superior manner in comparison to controlled parts manufactured with Virgin raw material. There are evidences which prove that the scraps, when coming from technical parts with chrome electroplating, can be used as raw material for production of parts of sets, buckles and frills, showing a 30% reduction in the costs of their manufacturing .

Keywords: Scraps. Cost reduction. Zamac. Pressured Casting. Footwear and accessories.

SUMÁRIO

CONTEÚDO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO DA LITERATURA	12
2.1. METAIS SANITÁRIOS	12
2.2. FIVELAS E ENFEITES	12
2.3. ZINCO	13
2.3.1. Ligas de Zinco (Zamac).....	14
2.3.2. Macro e microestrutura do Zamac	15
2.3.3. Características físicas e mecânicas do Zamac.....	18
2.3.4. Efeito dos elementos de liga	20
2.3.5. Impurezas.....	21
2.3.6. Oxidação dos elementos da liga	22
2.4. FUNDIÇÃO SOB PRESSÃO	22
2.4.1. Vantagens	25
2.4.2. Desvantagens	25
2.5. ELETRODEPOSIÇÃO EM BANHOS GALVÂNICOS	26
3. MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1. DEFINIÇÃO DAS PEÇAS.....	31
3.1.1. Cruzeta e volante para torneira.....	31
3.1.2. Fivela e enfeite para calçados e acessórios	32
3.2. OBTENÇÃO DAS PEÇAS, VOLANTE B1 E CRUZETA C27	33
3.3. FUNDIÇÃO POR GRAVIDADE DO VOLANTE B1 E DA CRUZETA C27.....	35
3.4. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO VOLANTE B1 E DA CRUZETA C27	38
3.5. OBTENÇÃO DA FIVELA E DO ENFEITE	38
3.6. ANÁLISE DA MICROESTRUTURA.....	41
3.7. ACABAMENTOS SUPERFICIAIS DAS FIVELAS E DOS ENFEITES.....	41
3.8. TESTES DE DESEMPENHO DAS FIVELAS E DOS ENFEITES.....	43
3.8.1. Propriedades mecânicas das fivelas	43
3.8.1.1. Ensaio de tração	43

3.8.1.2. <i>Ensaio de compressão</i>	44
3.8.2. Ensaio de resistência a corrosão (<i>salt spray</i>).....	45
3.8.3. Ensaio de fosqueamento	46
3.8.4. Ensaio de porosidade	47
3.8.5. Ensaio de aderência de tinta	48
3.8.6. Inspeção visual.....	49
3.9. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA	50
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
4.1. FUNDIÇÃO POR GRAVIDADE DAS AMOSTRAS, VOLANTE B1 E CRUZETA C27.....	52
4.2. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO VOLANTE B1 E DA CRUZETA C27, AMBOS COM E SEM PROCESSO GALVÂNICO.....	55
4.3. ANÁLISE DA MICROESTRUTURA.....	66
4.4. TESTES DE DESEMPENHO DAS FIVELAS E DOS ENFEITES.....	71
4.4.1. Propriedades mecânicas das fivelas	71
4.4.1.1. <i>Ensaio de tração da fivela</i>	71
4.4.1.2. <i>Ensaio de compressão da fivela</i>.....	73
4.4.2. Ensaio de resistência à corrosão (<i>salt spray</i>) da fivela e enfeite.....	75
4.4.3. Ensaio de fosqueamento	78
4.4.4. Ensaio de porosidade	80
4.4.5. Ensaio de aderência de tinta.....	81
4.4.6. Inspeção visual.....	83
4.5. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA	83
5. CONCLUSÃO	86
REFERÊNCIAS.....	88

1. INTRODUÇÃO

As peças para calçados e acessórios são de inúmeros formatos, tamanhos e modelos. Assim, o desenvolvimento de peças em material nobre, como latão, não é a melhor opção devido ao fato de seu tempo de vida útil ser relativamente curto e a diversidade dos produtos ser grande, dificilmente existindo produtos seriados.

O material utilizado para confecção destas peças é uma liga de Zinco, Alumínio, Magnésio e Cobre, conhecida comercialmente como Zamac, na composição química comercializada com o nome Z5. Esta liga possui características e propriedades importantes para aplicação em fivelas e enfeites. Estas características são o seu baixo ponto de fusão, aceitar tratamentos superficiais de eletrodeposição, vernizes e tintas, ter facilidade para realizar serviços de acabamento mecânico, como polimento e usinagem, e ter custo relativamente baixo.

Com o aumento da concorrência, as empresas precisam cada vez mais “*fazer mais com menos*” e com melhor qualidade. Dessa forma, a busca pela redução de custo é vital para a manutenção da sustentabilidade empresarial. Nesse contexto, um dos principais custos de empresas metalúrgicas é com matéria-prima, apresentando neste ponto uma excelente oportunidade de economia. Hoje, numa empresa metalúrgica da região do Vale do Rio dos Sinos, no Rio Grande do Sul, a sucata da produção de peças técnicas acabadas, eletrodepositadas com Cromo, não é reaproveitada diretamente no processo produtivo. Precisa antes, ser encaminhada para beneficiamento em fornecedor que produz e comercializa Zamac virgem¹ perdendo 65% da matéria-prima enviada.

¹ Zamac virgem - matéria prima comprada do fornecedor dentro das especificações da composição química exigidas por norma.

No ano de 2014, a quantidade de peças técnicas eletrodepositadas com Cromo rejeitadas no processo da empresa citada representou aproximadamente 15 toneladas de Zamac. Com este trabalho pretende-se reutilizar esta sucata como matéria-prima sem fazer-se necessário o envio para beneficiamento, obtendo maior quantidade de matéria-prima resultante.

O objetivo principal deste trabalho é a redução do custo de produção de fivelas e enfeites. Os objetivos específicos são produção de fivelas e enfeites com uso de sucata de peças técnicas com galvanoplastia em Cromo como matéria-prima e aprovação destas peças em testes e ensaios pertinentes.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Abordou-se neste item aspectos gerais e teóricos relacionados a metais sanitários, fivelas, enfeites, Zinco, processos de fundição e eletrodeposição em banhos galvânicos.

2.1. METAIS SANITÁRIOS

Metais sanitários são componentes da rede de abastecimento de água nas edificações. São elementos responsáveis por controlar, restringir, bloquear ou permitir a passagem do fluxo de água, num volume adequado e evitando desperdícios (INMETRO, 2009). Acessórios de banheiro também se enquadram nessa categoria.

2.2. FIVELAS E ENFEITES

Fivelas e enfeites são peças amplamente usadas em calçados e acessórios.

As fivelas são peças usadas para unir partes ajustáveis. Enfeites são peças usadas apenas como adorno para prover embelezamento e podem também expor a marca ou alguma simbologia necessária.

Fivelas e enfeites possuem algumas normas específicas para sua fabricação, as necessárias na abordagem deste trabalho são:

ABNT NBR 15174:2014 Componentes metálicos e plásticos para calçados e artefatos - fivelas, enfeites e reboques/paralamas - Determinação da resistência à compressão e a tração.

ABNT NBR 14369:2006 Componentes metálicos para calçados e artefatos – Determinação da resistência ao fosqueamento de peças niqueladas com verniz.

ABNT NBR 14223:2014 Componentes metálicos para calçados e artefatos – Revestimentos protetores aplicados sobre peças injetadas em Zamac e peças de aço – Determinação do grau de porosidade, ela estabelece critérios para análise e determinação da porosidade dos revestimentos protetores de peças em Zamac.

ABNT NBR 15264:2005 Determinação da aderência de tinta à ação de escova de cabelo, para peças de calçados e acessórios.

2.3. ZINCO

O Zinco puro não possui muitas aplicações, mas com a adição de elementos de liga são obtidas as Ligas de Zinco que são amplamente usadas na forma de peças fundidas, chapas laminadas, trefilados, forjados, extrusões.

Na sua forma mais pura, o Zinco está disponível como placas, lingotes, tiras, grânulos e poeira que combinado com o Oxigênio forma óxido de Zinco. O lingote de Zinco é produzido em três classes de pureza, os limites de impureza são importantes quando o Zinco é utilizado para fins de liga. Exceder os limites de impureza resulta em qualidades ruins de propriedades mecânicas e corrosão. Tiras de Zinco puro são utilizadas principalmente para as adições aos banhos de eletrodeposição, os grânulos de Zinco são utilizados em baterias e possibilita maior resistência à corrosão. Óxido de Zinco é usado como pigmento em primers e tintas de acabamento, como agente redutor em processos químicos e como aditivo comum na produção de produtos de borracha (CARDINALI; TOLEDO, 2011).

2.3.1. Ligas de Zinco (Zamac)

Ligas de Zinco podem ser processadas por meio de diversos tipos de sistemas, um deles é a fundição, tanto por centrifugação quanto sob pressão. As ligas de Zinco utilizadas comercialmente para fundição sob pressão são chamadas de Zamac. O nome Zamac vem da abreviatura dos nomes dos elementos que as compõe: Zinco, Alumínio, Magnésio e Cobre. Tratam-se de ligas hipoeutéticas de Zinco, com teores de Alumínio em torno de 4%, identificadas por números, por exemplo, Zamac 2(Z2), Zamac 3(Z3) e Zamac 5(Z5). As composições das ligas de Zamac comumente comercializadas estão demonstradas na Figura 1. Observa-se que o teor de Alumínio para todas as ligas é igual, diferindo apenas nos outros elementos.

Figura 1 - Composições das ligas de Zamac comumente comercializadas

Elementos	Zamac 2		Zamac 3		Zamac 5	
	mín	máx	mín	máx	mín	máx
Al	3,9	4,3	3,9	4,3	3,9	4,3
Mg	0,025	0,05	0,03	0,06	0,03	0,06
Cu	2,7	3,3	-	0,10	0,7	1,1
Fe	-	0,035	-	0,035	-	0,035
Pb	-	0,0040	-	0,0040	-	0,0040
Cd	-	0,0030	-	0,0030	-	0,0030
Sn	-	0,0015	-	0,0015	-	0,0015
Ni	0,0010		-		-	
Zn	Restante		Restante		Restante	

Fonte: ASTM B240-07

Dentre todas as ligas de metais não ferrosos o Zamac é uma das que possui maior utilização, devido as suas propriedades físicas, mecânicas e a fácil capacidade de revestimento por eletrodeposição (banho de Cromo, Níquel, Cobre, Ouro, Prata, entre outros). O seu baixo ponto de fusão (aproximadamente 385°C)

permite uma maior durabilidade do molde, é excelente para produção seriada, são metais de fácil usinagem, leves e resistentes.

Outra qualidade apresentada pelo Zamac é sua grande fluidez, que permite a obtenção de peças de formato complexo e com paredes finas. Ele pode ser usado, também, para a fundição por gravidade em moldes permanentes ou em fundição centrífuga.

Devido as suas características, o Zamac tem sido amplamente utilizado na indústria calçadista e de metais sanitários.

Zamac Z2, das Ligas de Zamac, é o que possui maior dureza e resistência à tração, ocasionado pelo alto teor de Cobre (2,6 a 2,9%). Retém tensões, o que torna frágil perante o impacto (VOTORANTIM, 2015).

O Zamac Z3 tem elevada plasticidade, flexibilidade e resistência ao impacto, próprio para peças complicadas e com paredes finas, mantém suas dimensões com o envelhecimento, indicado para peças de precisão (VOTORANTIM, 2015).

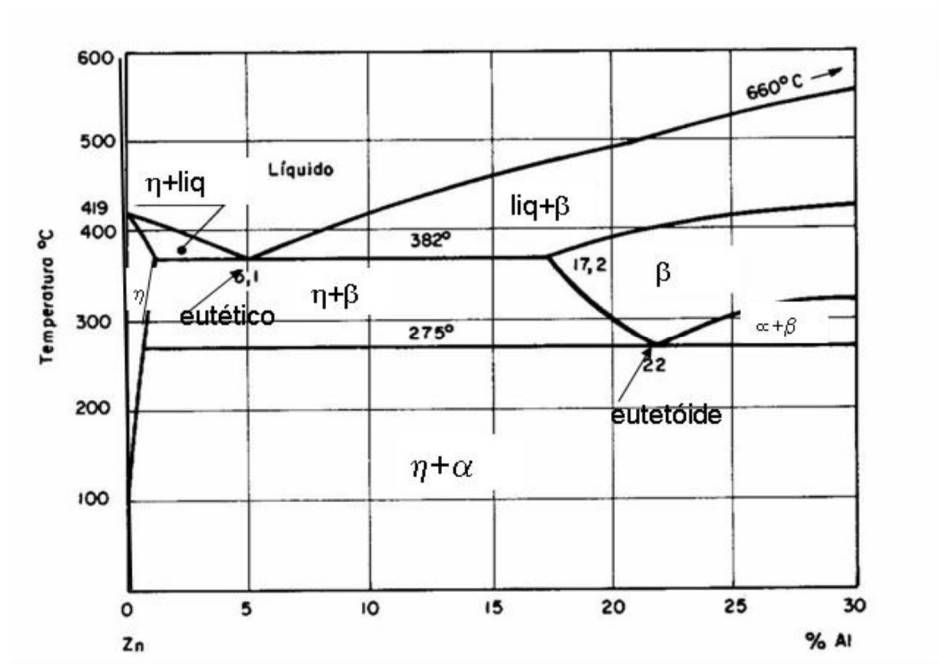
Zamac Z5 apresenta maior dureza e resistência mecânica, e conseqüentemente maior resistência ao desgaste e à fluência que o Zamac Z3, a usinabilidade dessa liga é também maior do que o Zamac Z3, tudo isso devido ao teor de Cobre (CARDINALI; TOLEDO, 2011).

2.3.2. Macro e microestrutura do Zamac

As ligas de Zinco possuem uma estrutura cristalina constituída de cristais hexagonais de Zinco que compõe a fase rica neste metal, envolvidos por uma matriz eutética da mesma fase, e uma fase de cristais cúbicos rica em Alumínio (PENHA

JR., 2008; METALS HANDBOOK-V9 b, 1992; MOJAVER; SHAHVERDI, 2011). Considerando que as composições clássicas de Zamac aproximam-se da liga eutética Zn-Al, utiliza-se o diagrama de fase da liga para demonstrar as mudanças de fase (METALS HANDBOOK-V9 b, 1992; GANIVET, 1987), Figura 2.

Figura 2 - Diagrama de fase do Zamac

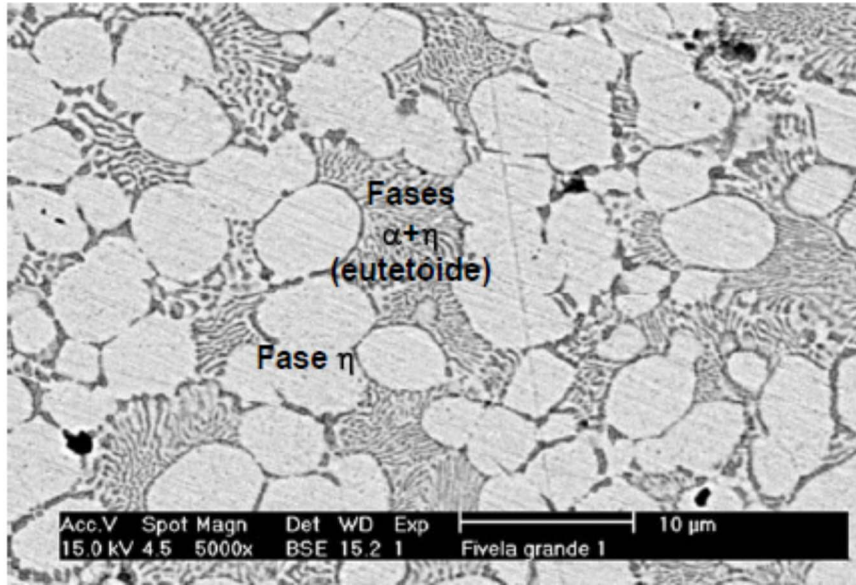


Fonte: METALS HANDBOOK-V3, 1992 a.

Diversos trabalhos (METALS HANDBOOK-V3, 1992 a; BRITO; SIQUEIRA; SPINELLI; GARCIA, 2012; MOJAVER; SHAHVERDI, 2011) tem demonstrado que quando uma das ligas hipoeutéticas que constituem a família Zamac resfria, observa-se a formação de cristais primários dendríticos de uma fase rica em Zinco (fase η) com 98,86% Zn a 382°C que apresenta estrutura cristalina hexagonal. Abaixo desta temperatura, a fase η fica envolta por um eutético constituído por esta mesma fase e de uma segunda fase, de estrutura cúbica, denominada fase β (GANIVET, 1987; YAN; et al, 2012). A fase β possui 22% de Alumínio e prevalece até a temperatura de 275°C, quando passa por uma reação eutetoide, transformando-se em $\alpha + \eta$ (GANIVET, 1987). A Figura 3 mostra uma

microestrutura típica da liga de Zamac Z5 após processamento por fundição sob pressão (FÜHR, 2012).

Figura 3 - Microestrutura típica da liga de Zamac Z5



Fonte: RICK, 2006

Na Figura 3, observa-se a presença da fase eutetoide $\alpha + \eta$; sendo que a fase η , rica em Zinco apresenta-se sob uma forma dendrítica. Estudos evidenciaram que o Cobre, presente na liga em teores maiores que 1% tende a formar a fase interdendrítica ε , com um precipitado metaestável de CuZn_4 . Por outro lado, em quantidades menores do que 1%, o Cobre apresenta-se totalmente solubilizado e distribuído na matriz de Zinco (GANIVET, 1987; MOJAVER; SHAHVERDI, 2011). O Magnésio, por sua vez, concentra-se preferencialmente nas dendritas primárias, na formação da fase hipereutética, formando uma nova fase intermediária. O Magnésio colabora no crescimento da fase eutética, em detrimento à formação de dendritas primárias e fases eutetoides isoladas, promovendo uma maior homogeneidade de distribuição da matriz eutética.

Estudos (CHEN; HAO; SUN, 2003) mostraram que o Magnésio causa um incremento na fase líquida, promovendo um aumento na distância entre as dendritas, o que diminui a dureza da liga. A adição de Cobre e Magnésio na liga hipoeutética Zn-Al altera as temperaturas de transição de fase, além de incluir novas fases ao processo de solidificação (FÜHR, 2012).

Conforme o processo de fabricação utilizado as microestruturas das ligas são modificadas. Processo de fundição sob pressão origina matrizes melhor distribuídas, com tamanhos de grão menores do que processos de vazamento por gravidade (FÜHR, 2012).

2.3.3. Características físicas e mecânicas do Zamac

As características físicas e mecânicas estão apresentadas na Figura 4, comparando lado a lado as ligas Z2, Z3 e Z5.

Figura 4 - Características físicas e mecânicas

		LIGAS DE ZINCO		
Propriedade	Unidades	Zamac 3	Zamac 5	Zamac 2
Limite de escoamento	MPa	268	295	361
Limite de resistência à tração	MPa	308	331	397
Módulo de Young	GPa	96	96	96
Módulo de torção	MPa x 10 ³	33+	33+	33+
Alongamento em ruptura	%	5,8	3,4	6
Resistência ao cisalhamento	MPa	214	262	317
Limite de escoamento por compressão	MPa	414	600	641
Resistência ao impacto	Joules	46	52	38
Resistência à fadiga (5.10 ⁸ ciclos)	MPa	48	57	59
Dureza	Brinell	97	114	130
Tenacidade à fratura K _{IC}	x 10 ⁷ N.m ^{-3/2}	2,25	2,1	-
Densidade	g/cm ³	6,6	6,7	6,8
Capacidade de amortecimento a 35 MPa	%	18	-	-
Capacidade de amortecimento a 100 MPa	%	40	-	-
Coeficiente de expansão térmica	µm/m/°C	27,4	27,4	27,8
Condutividade térmica	Wm ⁻¹ °K ⁻¹	113	109	105
Condutividade elétrica	% IACS	27	26	25
Resistividade elétrica	µ ohm - cm	6,37	6,54	6,85
Intervalo de temperatura de fusão	°C	381-387	380-386	379-390
Calor específico	J/kg/°C	419	419	419
Coeficiente de atrito	-	0,07	0,08	0,08
Precisão típica em mais de 100 mm	± µ	100	100	100
Espessura de parede mínima	mm	0,4	0,4	0,4
Velocidades típicas de produção	Injeções por hora	Grande 200-500. Pequeno 400-1.000. Pequeno demais 2.000-3.000.		
Variação de velocidade de produção	Injeções por hora	200-3.600		
Ciclo de vida típico de ferramenta	Injeções	750.000-2.000,000		

Fonte: VOTORANTIM, 2015

Dentre todas as características cabe ressaltar a resistência à tração, a liga que apresenta a maior resistência na liga Zamac Z2, seguido pelo Zamac Z5 e Zamac Z3, isso devido ao maior percentual de cobre em sua composição química.

2.3.4. Efeito dos elementos de liga

A seguir são realizadas algumas considerações sobre o efeito dos elementos de liga da liga de Zamac.

Alumínio - É o elemento adicionado em maior teor, por aumentar sensivelmente à resistência e a dureza da liga, bem como sua fluidez, permitindo a obtenção de peças fundidas de formatos complexos. Outra vantagem dessa adição é a de diminuir a ação corrosiva do Zinco líquido sobre as partes de aço de máquina e das ferramentas de injeção. Entretanto, se o teor do Alumínio for superior a 4,5%, a liga aproxima-se do ponto eutético (5% de Alumínio), reduzindo-se sua resistência ao choque. Nessas condições, a liga é frágil, podendo fissurar durante as operações de endireitamento ou conformação. Por outro lado, se o teor do Alumínio for inferior a 3.5%, a liga perde resistência e dureza, decrescendo também sua fundibilidade, o que torna difícil a obtenção de peças de formato complexo e de paredes finas (CARDINALI; TOLEDO, 2011; VOTORANTIM, 2015).

Magnésio - Apesar do teor de Magnésio especificado ser relativamente pequeno (0,03-0,06%), este metal tem grande influência nas propriedades das ligas de Zinco para fundição sob pressão. Sendo assim o Magnésio mais eletronegativo que o Zinco, inibe a corrosão intergranular da liga de Zinco. Entretanto, é aconselhável manter o teor de Magnésio abaixo de 0,05% pois este metal pode provocar “fragilidade a quente” na peça fundida, particularmente quando esta é de

formato complexo e não existe espaço suficiente na ferramenta para permitir a sua contração (CARDINALI; TOLEDO, 2011; VOTORANTIM, 2015).

Cobre - A adição de Cobre aumenta a resistência à corrosão, a resistência mecânica e a dureza da liga. Entretanto, o teor não deve exceder a 1,25%, pois acima deste, a liga torna-se instável por ficar sujeita ao “envelhecimento”, reduzindo sensivelmente, sua resistência ao choque. Um teor de Cobre acima de 0,6% já provoca o fenômeno da precipitação, o qual afeta a estabilidade dimensional da peça. Apesar do Zamac Z5 ter o teor de Cobre fixado em 1,1%, as mudanças dimensionais não são grandes e ocorrem poucas semanas após a fundição (CARDINALI; TOLEDO, 2011; VOTORANTIM, 2015). A menos que a peça seja relativamente grande ou requeira tolerâncias dimensionais extremas, as alterações dimensionais podem ser consideradas desprezíveis. Para aplicações que exigem alta precisão dimensional da peça, a liga Zamac Z3, isenta de Cobre, deve ser usada (GANIVET, 1987).

O Cobre é restrito a 0,10% em algumas ligas e é utilizado em concentrações nominais, variando de 0,7% a 3,3% em outras, para maior resistência mecânica e dureza, e maior resistência a fluência. Um maior conteúdo de Cobre é acompanhado de uma redução na ductilidade (VOTORANTIM, 2015).

2.3.5. Impurezas

Ferro, chumbo, cádmio e estanho são indesejáveis e devem restringir-se a baixíssimos níveis. As concentrações em quantidades de até Níquel (0,02%), Cromo (0,02%), Silício (0,035%) e Manganês (0,05%), podem ser toleradas sem nenhum efeito prejudicial (VOTORANTIM, 2015).

Com um teor de Ferro acima de 0,035% os compostos intermediários Ferro-Alumínio (FeAl_3 e Fe_2Al_5) se formam e se não retirados na escumagem do banho no cadinho, segregam na peça fundida e criam os chamados “pontos duros”, causadores de dificuldades na usinagem. O Cromo apresenta comportamento similar ao do Ferro (PARANAIBA METAIS, 2012).

2.3.6. Oxidação dos elementos da liga

Durante o processo de fundição, no cadinho pode ser observado a formação de escória sobrenadante sobre o Zamac fundido, o que está relacionado com o superaquecimento da liga. O superaquecimento pode levar a perda de Alumínio e Magnésio via oxidação (RICK, 2006).

2.4. FUNDIÇÃO SOB PRESSÃO

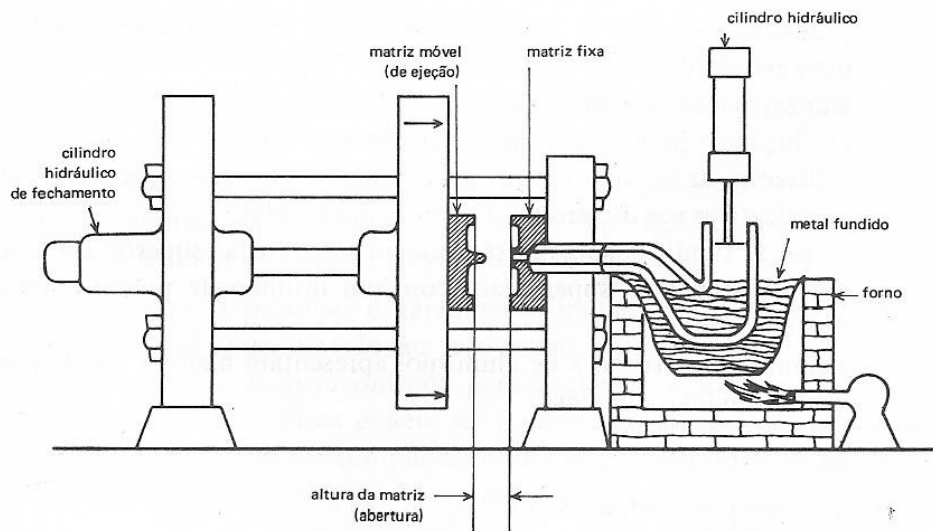
A fundição sob pressão é um processo no qual o metal fundido é injetado com velocidade e pressão controladas na cavidade de um molde de aço. A cavidade é usinada com precisão e tolerância rígidas, em um bloco de aço temperado.

O tempo de fundição pode ser apenas alguns segundos para peças pequenas, já para peças maiores o tempo varia bastante, dependendo do tipo de peça e qualidade exigida. O tempo de preenchimento do molde é extremamente curto o que minimiza a tendência do metal em solidificar-se prematuramente, e possibilita seu fluxo até o preenchimento de seções muito finas. O molde é refrigerado para manter a temperatura de aproximadamente 120°C. Por causa da rápida solidificação, a peça fundida sob pressão desenvolve propriedades exclusivas, que não são possíveis em outros processos.

Existem dois tipos básicos de fundição sob pressão: câmara quente e câmara fria. O processo em câmara quente é normalmente utilizado para as ligas do tipo Zamac Z3 e Z5. O processo de câmara fria é voltado para as ligas Zamac Z12 e Z27. A única liga que pode ser usada em ambos é a liga Zamac Z8.

Na fundição por câmara quente, o sistema de injeção encontra-se submerso no metal líquido, a alimentação do metal fundido é feita de forma automática até a matriz, conforme ilustrado na Figura 5.

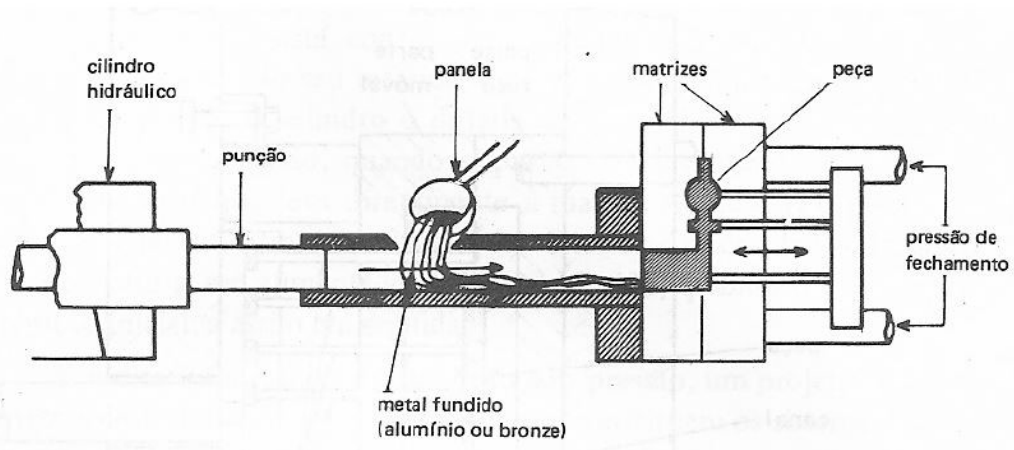
Figura 5 – Ilustração do sistema de injeção por câmara quente



Fonte: SILVA, 2009

Na fundição por câmara fria, o metal fundido é transferido manual ou automaticamente para a bucha de injeção a qual é totalmente separada do cadinho de fundição, então o metal é introduzido no molde por meio de um pistão, conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Ilustração do sistema de injeção por câmara fria



Fonte: SILVA, 2009

Algumas características importantes do processo de fundição são, exatidão, aspecto, propriedades mecânicas e aplicações.

A exatidão é uma das principais vantagens do processo de fundição sob pressão, é a reprodução fiel de detalhes muito finos e uma exatidão das dimensões de todos os contornos. Em muitos casos após a fundição não é necessário a usinagem de acabamento o que acaba baixando o custo da produção (UFPR, 2007).

O aspecto das peças fundidas sob pressão se caracteriza pela sua limpeza e brilho. Podem ocorrer na superfície das peças pequenos desenhos os quais não são relevantes, pois são apenas linhas de fluxo do metal líquido (UFPR, 2007).

A presença de pequenos poros no interior das paredes pode influir nas propriedades mecânicas. Existe um aumento da resistência mecânica por consequência do menor tamanho da fase primária.

Para grande maioria das peças fundidas sob pressão a resistência não é o fator essencial que determina sua aplicação. O acabamento superficial e a exatidão da peça têm maior importância.

Em relação as aplicações, a Indústria calçadista e de metais sanitários têm sido grandes consumidoras da fundição sob pressão, a maior parte das peças são à base de Zamac.

Existem ainda vários setores que utilizam desse processo como, indústria automobilística, equipamentos eletrônicos, material bélico, brinquedos, eletrodomésticos, agricultura, transporte, máquinas industriais, equipamentos de escritório e comerciais, joalheria, equipamentos esportivos, máquinas fotográficas e filmadoras, equipamentos para construção, entre outros.

2.4.1. Vantagens

A grande vantagem do processo de fundição sob pressão é a rapidez na operação que resulta em redução de custos de produção, possibilita fundir peças com seções finas e a eliminação de dimensionamento excessivo de usinagem, o que resulta na economia de material.

Devido à pressão exercida pela máquina sobre o metal fundido contido no molde é possível a obtenção de peças isentas de rechupes.

Processo facilmente automatizado, ideal para produções seriadas em grande volume, devido à elevada vida útil de seu ferramental.

2.4.2. Desvantagens

A desvantagem deste processo é o custo elevado das injetoras e do ferramental, também existem poucas ligas próprias para este processo e estas ligas não permitem soldagem.

As peças podem possuir porosidade interna o que impossibilita de produzir peças com densidades totalmente uniformes, peças com paredes muito finas ou com tolerâncias dimensionais rígidas não são indicadas para este processo.

2.5. ELETRODEPOSIÇÃO EM BANHOS GALVÂNICOS

O processo de eletrodeposição em banhos galvânicos consiste na deposição de uma camada fina de metal sobre uma superfície metálica ou plástica, por meios químicos ou eletroquímicos, com o objetivo de melhorar a resistência à corrosão, durabilidade, além de propiciar uma aparência mais atrativa (SESI, 2007; NETO; et al, 2008; BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

A deposição metálica ocorre praticamente toda sua totalidade em tanques contendo soluções alcalinas ou ácidas. Os banhos utilizados no processo galvânico são divididos em: banhos eletrolíticos, que utilizam corrente elétrica para realizar a deposição metálica ou limpeza das peças e banhos de imersão simples, que não utilizam a eletricidade (BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

As etapas constituintes do processo galvânico são (PACHECO, 2002; SENAI-RS, 2002):

- Pré-tratamento – etapa onde ocorre a preparação da superfície das peças, por processos mecânicos e/ou químicos, visando garantir ao revestimento metálico boa aderência, uniformidade e aparência;

- Tratamento – processo de deposição metálica por meio de banhos eletrolíticos ou de imersão simples (químico). Esta etapa pode se desenvolver numa sequência de banhos, que variam de acordo com o processo utilizado;

- Pós-tratamento – etapa de finalização do processo, onde as peças podem passar por lavagem com água fria ou quente; secagem em centrífuga, estufa ou jatos de ar; banho de óleo para embalagem e proteção; e pintura ou envernizamento.

Existem diversos processos de galvanoplastia utilizados pelas empresas, dentre eles destaca-se a Cromação, Cobreação, Niquelação, Zincagem, entre outros. Estes processos possuem uma sequência específica de banhos eletrolíticos, que variam em função do uso previsto para as peças.

O Cobre pode ser depositado por meio de dois tipos de banhos: alcalinos e ácidos. O Cobre alcalino propicia às peças uma boa aderência às camadas metálicas que serão depositadas e protege as peças contra o ataque dos banhos ácido seguintes, sendo geralmente à base de cianetos e pirofosfatos (CPRH, 2001; FÖLDES, 1973).

O Cobre ácido é utilizado para nivelar a superfície das peças, proporcionar brilho e colaborar para a proteção contra corrosão, sendo à base de sulfato, sulfamato ou fluorborato. Os dois tipos de banhos podem ser utilizados em sequência, iniciando pelo banho de Cobre alcalino e seguido pelo banho de Cobre ácido (CPRH, 2001, FÖLDES, 1973).

O banho de Níquel possui como principal objetivo proteger as peças da corrosão, pois é um metal duro muito resistente ao ataque químico de diversos ácidos, bases e da água. Utiliza-se muito o Níquel para fins decorativos, podendo ser brilhante ou fosco (CPRH, 2001, FÖLDES, 1973).

O Cromo decorativo consiste na aplicação de uma camada fina do metal (0,2 a 0,75 micrômetros) sobre outros metais previamente depositados, com a intenção

de prevenir manchas, aumentar a resistência à abrasão, além de melhorar o aspecto visual da peça (NETO; et al 2008).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O início do trabalho realizado nesta dissertação consistiu na análise da quantidade de sucata de produção gerada por uma empresa metalúrgica no ano de 2014. Dentro das linhas de produtos da empresa, a de peças técnicas eletrodepositadas com Cromo foi a linha que mais gerou sucata no período em análise. Assim, dentro desta linha foram selecionadas duas peças, relacionando a área e o volume da peça, para obter a peça com maior área/volume e a menor área/volume.

Fivelas e enfeites produzidos com matéria-prima reaproveitada passaram pelos processos normais de fabricação e foram submetidas aos ensaios pertinentes para comprovar o uso da sucata na aplicação como matéria-prima. Foram realizadas análises de composição química, ensaios mecânicos e de corrosão e testes de desempenho. O fluxograma da Figura 7 mostra a metodologia de trabalho deste estudo.

Figura 7 – Fluxograma com metodologia utilizada neste trabalho



Fonte: Próprio autor

3.1. DEFINIÇÃO DAS PEÇAS

Para definir os modelos de peças da sucata que seriam utilizadas como matéria-prima e os modelos de peças que seriam ensaiadas como produto final, primeiramente definiu-se a linha de produtos que apresentou maior quantidade de sucata no ano de 2014. Esta foi a linha chamada de peças técnicas, composta por produtos para metais sanitários como cruzetas e volantes para torneiras, revestidos com galvanoplastia de Cromo.

No ano de 2014, a sucata de Zamac fundido sob pressão na linha de peças técnicas com galvanoplastia em Cromo, foi de aproximadamente 15.000 kg. Dentro desta sucata existem 42 modelos, dos mais variados formatos e tamanhos.

Para os ensaios e validação do uso de sucata como matéria-prima, foi definida a linha de produtos e as peças que seriam confeccionadas e ensaiadas como produto final. A linha escolhida possui menor complexidade de produção e volume de vendas maior que a linha de peças técnicas, esta linha é chamada Moda, composta por fivelas e enfeites para calçados e acessórios. Um modelo de fivela e um de enfeite foram definidos.

Para tanto, peças de volante e cruzeta para torneiras foram feitas a partir de matéria-prima virgem. As fivelas e enfeites para calçados e acessórios foram confeccionados com sucata de peças técnicas com galvanoplastia em Cromo de vários modelos.

3.1.1 Cruzeta e volante para torneira

Com a análise do relatório de sucatas do ano de 2014, foram definidas as peças, para isso, foi utilizada a relação da área que será coberta com o

contaminante (galvanoplastia), relacionando com o volume da peça, (área da peça/volume da peça). Após se escolheu dentre os 42 itens a peça com a maior e a com menor relação área/volume, com o objetivo de estudar peças com a maior e a menor quantidade de contaminantes em relação ao volume de Zamac da peça. As peças escolhidas foram um volante para torneira de referência interna B1, e uma cruzeta para torneira de referência interna C27.

A Tabela 1 mostra a escolha das peças, sua área e seu volume.

Tabela 1 – Peças definidas com área e volume

Peça	Ref.	Imagem	Área (cm ²)	Volume (cm ³)	Área/Volume	
Volante para Torneira	B1		106,09	8,13	13,05	MAIOR relação área/volume
Cruzeta para Torneira	C27		73,05	25,54	2,86	MENOR relação área/volume

Fonte: Próprio autor

Como mostrado na Tabela 1, o volante para torneira Referência B1 possui área de 106,09 cm² e volume de 8,13 cm³, assim representando a maior relação área/volume, com o valor de 13,05. Por outro lado, a cruzeta para torneira referência C27 possui área de 73,05 cm² e volume de 25,54 cm³, representando a menor relação área/volume, com o valor de 2,86.

3.1.2 Fivela e enfeite para calçados e acessórios

A linha de moda (produtos para calçados e acessórios) é uma linha de menor complexidade e exigências que a linha de peças técnicas, porém, seu volume de vendas é superior, o que representa maior consumo de Zamac.

Com a linha de produtos definida, a escolha das peças usadas para analisar a eficiência da sucata como matéria-prima foi realizada considerando o modelo mais comum entre as fivelas e o modelo mais comum entre os enfeites, Figura 8, ambos amplamente usados nos calçados e acessórios. A fivela possui características funcionais e o enfeite é usado apenas como adorno, mas possui uma área superficial lisa maior que a fivela e gravações em baixo relevo.

Figura 8 – Fivela e enfeite escolhidos



. Fonte: Próprio autor

3.2. OBTENÇÃO DAS PEÇAS, VOLANTE B1 E CRUZETA C27

A obtenção das peças Volante B1 e Cruzeta C27 foi realizada de maneira controlada. Não foram utilizadas as peças já existentes no processo, devido à incerteza de sua composição química. Para tanto foram produzidas peças novas para acompanhamento durante todo processo normal de produção, ao final elas foram separadas do processo e classificadas como sucata, independentemente se apresentavam defeito ou não.

Para poder analisar a composição química das peças B1 e C27, é preciso saber a composição da matéria-prima usada na sua fundição e a quantidade em peso dos metais adicionados durante o processo de eletrodeposição por banho

galvânico. Da matéria-prima usada na fundição das peças B1 e C27 foi retirada uma amostra para análises.

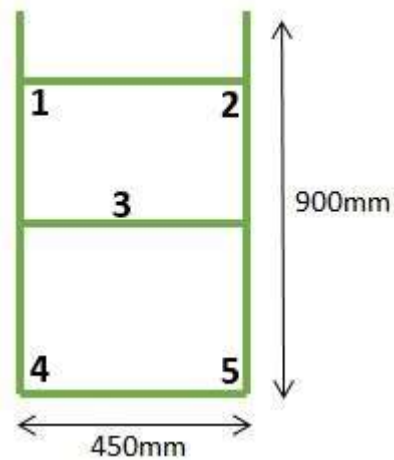
As peças foram fundidas em uma injetora com câmara quente Marca Agrati modelo HC120; posteriormente, foram lixadas e polidas manualmente. Nesta etapa foram separadas amostras sem acabamento galvânico (denominadas *cruas*), enquanto as demais amostras seguiram para o processo galvânico.

No processo de galvanoplastia, as peças foram submetidas a sucessivas eletrodeposições por banhos galvânicos: Cobre alcalino, Cobre ácido, Níquel e Cromo, respeitando o desengraxe e ativações necessárias no processo. A eletrodeposição não ocorre de maneira linear em todas as peças. Mesmo na mesma gancheira², o processo é influenciado por muitas variáveis, como distância entre a peça e o anodo, composição química do eletrólito e densidade de corrente elétrica utilizada, que não são pertinentes neste estudo.

Com intenção de minimizar estas variáveis, as peças foram colocadas de maneira estratégica na gancheira. Elas foram numeradas conforme sua posição, como pode ser observado na Figura 9, que mostra a gancheira e as posições das peças.

² Gancheira – Suporte construído de metal condutor utilizado como suporte para colocar as peças no banho galvânico.

Figura 9 – Representação da gancheira com posição das peças



Fonte: Próprio autor

As peças lixadas e polidas foram pesadas e dispostas na gancheira. Depois de cada etapa de processo galvânico foram novamente pesadas e repostas nas suas respectivas posições na gancheira. As pesagens foram realizadas para definir o acréscimo dos metais eletrodepositados em cada uma das etapas do processo galvânico.

Depois de obter a quantidade de contaminantes oriundos do processo galvânico, as peças foram fundidas por gravidade para análise térmica, composição química e microestrutura.

3.3. FUNDIÇÃO POR GRAVIDADE DO VOLANTE B1 E DA CRUZETA C27

Na fundição por gravidade 20 amostras das peças B1 com galvanoplastia em Cromo, 21 amostras de B1 sem galvanoplastia (crua), 8 amostras de C27 com galvanoplastia em Cromo e 8 amostras de C27 sem galvanoplastia (crua), foram pesadas antes do processo e fundidas separadamente para analisar a quantidade de escória gerada e realizar a análise térmica de cada uma delas, a fim de

estabelecer a influência do processo galvânico na geração da escória e nas alterações das curvas de análise térmica.

Como parâmetro foi realizado o mesmo experimento com um lingote de Zamac Z5, virgem.

De acordo com a quantidade de escória gerada, foi definida a perda de material no processo de fundição para cada amostra. Para tanto as peças foram colocadas separadamente em um cadinho de grafite (Figura 10) em um forno elétrico marca Sanchis para fusão controlada (Figura 11).

Figura 10 – Interior do forno de fusão com amostras de peças B1



Fonte: Próprio autor

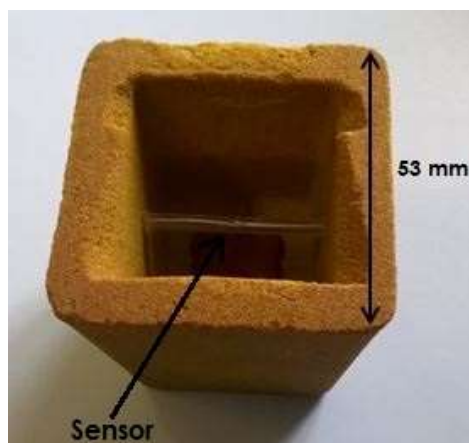
Figura 11 – Forno usado para fusão controlada das peças



Fonte: Próprio autor

A escória sobrenadante na fusão foi removida e o metal líquido foi vazado em moldes de areia de fundição de 50 cm³, equipado com sensor de temperatura tipo K (Figura 12) para obtenção das curvas de análise térmica. As curvas foram controladas por computador utilizando software específico o Novus FieldChart 1.80, que realiza a leitura dos dados para gerar gráficos e tabelas.

Figura 12 – Molde de areia de fundição com sensor de temperatura



Fonte: Próprio autor

3.4. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO VOLANTE B1 E DA CRUZETA C27

O Zamac Z5 virgem utilizado como base para este estudo tem a faixa de composição química apresentada na tabela da Figura 13 pelo seu percentual de massa.

Figura 13 – Faixa de composição química do Zamac Z5

Elementos	Zamac 5	
	min	máx
Al	3,9	4,3
Mg	0,03	0,06
Cu	0,7	1,1
Fe	-	0,035
Pb	-	0,0040
Cd	-	0,0030
Sn	-	0,0015
Ni	-	
Zn	Restante	

Fonte: ASTM B240-07

Para realizar as análises de composição química as amostras de peças B1 e C27, ambos com e sem eletrodeposição e a amostra de Zamac virgem, as quais foram utilizadas para análise da curva de solidificação foram removidas do molde de areia e retirada uma amostra da parte central.

Estas amostras foram submetidas à análise de Espectroscopia de Emissão Óptica com uso de equipamento Stationary Metal Analyser - Spectromaxx Benchtop unit – 2008, em uma empresa prestadora de serviços.

3.5. OBTENÇÃO DA FIVELA E DO ENFEITE

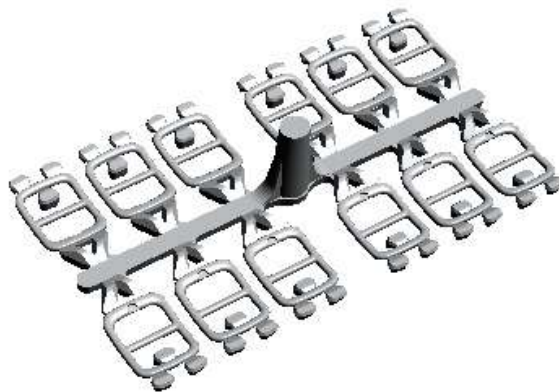
A fivela e o enfeite utilizados neste estudo foram confeccionados conforme o processo usual de fabricação para estes componentes. Foram fundidos sob pressão em uma injetora com câmara quente marca Lalos modelo LM-150, com 13 toneladas

de pressão de fechamento, em molde de aço carbono temperado, com refrigeração forçada a água. O material fundido é mantido na temperatura entre 430°C a 440°C e a matriz entre 100° a 120°C.

A matéria-prima utilizada na fundição das fivelas e enfeites foi sucata de diversas peças técnicas com galvanoplastia em Cromo, não apenas de volante B1 e cruzeta C27. A intenção foi simular exatamente como será o processo de reutilização no cotidiano, validando o uso da sucata sem distinção de tipo ou quantidade. Assim, a empresa pode utilizar a sucata que estiver disponível no momento.

Nas Figuras 14 e 15 se observa o modelamento das peças, a quantidade de cavidades existentes na matriz, o canal de alimentação e os massalotes.

Figura 14 – Modelamento 3D da fivela com canal e massalotes



Fonte: Próprio autor

Figura 15 – Modelamento 3D do enfeite com canal e massalotes



Fonte: Próprio autor

As peças confeccionadas seguiram os processos normais de confecção dos produtos para uso em calçados e acessórios: desgalhe, rebarbação por vibroacabamento, desengraxe químico e eletrodeposição. Essas etapas foram realizadas utilizando fivelas e enfeites de sucata e de material virgem misturados na mesma carga. Para identificar as peças após os processos, as amostras de material virgem foram marcadas conforme Figura 16.

Figura 16 – Marcação na fivela e no enfeite, ambos produzidos com material virgem



Fonte: Próprio Autor

3.6. ANÁLISE DA MICROESTRUTURA

A análise da microestrutura foi realizada nas amostras de material virgem, B1 com galvanoplastia e C27 com galvanoplastia, as mesmas utilizadas para análise da composição química. Também foi realizada a análise nas amostras fundidas sob pressão de fivela e Enfeite produzidos com material virgem e com sucata.

A análise foi realizada através da técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), utilizando um Microscópio Eletrônico de Varredura Modelo JEOL-JSM 6510CV com resolução de 129 Ev, da Universidade Feevale.

As amostras receberam polimento mecânico com lixas de gramaturas 400, 600, 800, 1200, 1500, 2000, 2500, 3000 e 4000, nesta sequência, todas com o uso de água. Depois de lixadas, as amostras foram polidas em polítriz rotativa com feltro e pasta de diamante. No polimento fez-se o uso de álcool etílico como elemento refrigerante, em seguida elas foram atacadas com Nital(5%) para revelar a microestrutura. Antes de serem introduzidas no Microscópio Eletrônico de Varredura, as amostras foram metalizadas com uma fina camada de Ouro.

3.7. ACABAMENTOS SUPERFICIAIS DAS FIVELAS E DOS ENFEITES

Os acabamentos superficiais não são realizados apenas para prover resistência à corrosão, mas também para proporcionar características decorativas, provendo à peça cor, tonalidade, textura e brilho necessários.

Foram aplicados dois tipos distintos de acabamentos superficiais nas fivelas e nos enfeites. Um deles consistiu na eletrodeposição de Níquel em banho rotativo como acabamento final, com posterior aplicação de verniz incolor a base de resina

epóxi. O outro acabamento utilizado foi a pintura, a qual é realizada diretamente sobre as peças cruas, após fosfatização, com uso de tinta à base de resina epóxi.

A Figura 17 mostra a fivela e o enfeite com galvanoplastia em Níquel com verniz incolor e a fivela e o enfeite com pintura na cor preta.

Figura 17 – Fivela e enfeite com acabamento em Níquel e com pintura epóxi



Fonte: Próprio autor

Com aplicação dos acabamentos superficiais as fivelas e os Enfeites são considerados produtos finais, prontos para o uso, assim apresentando condições para realização dos testes de desempenho.

3.8. TESTES DE DESEMPENHO DAS FIVELAS E DOS ENFEITES

Os testes de desempenho foram realizados nos produtos finais fivelas e enfeites, com o objetivo de garantir as exigências de qualidade do mercado consumidor em geral, assim como nas exigências específicas de clientes.

3.8.1. Propriedades mecânicas das fivelas

As propriedades mecânicas das fivelas foram analisadas através de ensaios específicos baseados na norma da ABNT NBR 15174:2014 *Componentes metálicos e plásticos para calçados e artefatos - fivelas, enfeites e reboques/paralamas - Determinação da resistência à compressão e a tração*. Os ensaios de resistência mecânica não foram realizados nos Enfeites, pois eles são usados apenas como adorno decorativo e não exercem características funcionais.

3.8.1.1. Ensaio de tração

Este ensaio avalia a resistência do eixo central das fivelas quanto à tração. No processo de produção de calçados e acessórios, as forças de tração no eixo central da fivela aparecem durante processo de montagem e principalmente durante seu uso pelo consumidor final. Os defeitos podem gerar problemas não apenas estéticos, mas de ordem funcional para a peça, o que pode representar riscos durante seu uso. Conforme a ABNT NBR 15174:2014, a resistência mínima à tração é de 250N para qualquer tipo de calçado.

O ensaio foi realizado na Universidade FEEVALE utilizando uma máquina universal para ensaios marca EMIC. Para realização do ensaio foi desenvolvida uma ferramenta especial, conforme Figura 18.

Figura 18 – Ensaio de tração da fivela



Fonte: Próprio autor

3.8.1.2. Ensaio de compressão

No processo de produção de calçados e acessórios, as fivelas são expostas às forças de compressão em diversas etapas, principalmente nas prensas pneumáticas de colagem de sola e conformação do traseiro. Os defeitos podem gerar problemas não apenas estéticos, mas de ordem funcional para a peça, o que pode representar riscos durante seu uso. Este ensaio avalia a resistência do eixo central da fivela quanto à compressão. Conforme a ABNT NBR 15174:2014, a resistência mínima à compressão é de 250N para qualquer tipo de calçado.

O ensaio foi realizado na Universidade FEEVALE utilizando uma máquina universal para ensaios marca EMIC. Para realização do ensaio foi desenvolvida ferramenta especial, conforme Figura 19.

Figura 19 – Ensaio de compressão realizado na fivela



Fonte: Próprio Autor

3.8.2. Ensaio de resistência a corrosão (*salt spray*)

O ensaio de corrosão com névoa salina acética é de grande utilidade para diversos setores da indústria, tais como Automobilística, Tintas e Vernizes, Aeroespacial, Militar, Eletrônica, Química.

No ensaio de corrosão com névoa salina acética, se produz uma atmosfera úmida totalmente controlada com Cloreto de Sódio e Ácido Acético, a qual as amostras são expostas. Este ensaio acelera o processo de corrosão, simulando em 72 horas o que aconteceria se a amostra estivesse exposta por anos a intempéries reais.

Este ensaio foi realizado em uma câmara marca Equiplan de 600 litros. Foram seguidos os procedimentos estabelecidos em norma interna da empresa para atendimento de critérios de clientes. Foi utilizada uma solução aquosa com 5% de NaCl e Ácido Acético para ajustar o pH da solução em 3.1. O ar comprimido para

formação da névoa foi regulado em 170 kPa e a temperatura da câmara controlada em 35°C.

As peças foram identificadas e amarradas suspensas por um cordão. Elas foram dispostas no interior da máquina separadas pelo tipo de material (virgem e sucata) e tipo de peça (fivela e enfeite), conforme Figura 20.

Figura 20 – Câmara de Salt Spray com as peças em seu interior



Fonte: Próprio autor

3.8.3. Ensaio de fosqueamento

O ensaio de fosqueamento estabelece o grau de proteção da camada de verniz aplicada sobre peças niqueladas, avaliando a perda de brilho (fosqueamento) do revestimento das peças quando em contato com ácido fórmico. O ensaio segue os quesitos da norma *ABNT NBR 14369:2006 Componentes metálicos para calçados e artefatos – Determinação da resistência ao fosqueamento de peças niqueladas com verniz*.

Neste ensaio as peças são colocadas em um copo de béquer de 100 ml, o qual é colocado dentro de um recipiente de vidro transparente de 1000 ml, com 25 ml de solução de ácido fórmico a 2%, conforme Figura 21. O vidro foi tampado e colocado em uma estufa a 60°C por 1 hora. A avaliação se dá por comparação visual.

Figura 21 – Ensaio de fosqueamento



Fonte: Próprio autor

3.8.4. Ensaio de porosidade

O ensaio de porosidade é regido pela norma *ABNT NBR 14223:2012 Componentes metálicos para calçados e artefatos – Revestimentos protetores aplicados sobre peças injetadas em Zamac e peças de aço – Determinação do grau de porosidade, ela estabelece critérios para análise e determinação da porosidade dos revestimentos protetores de peças em Zamac.*

O princípio químico deste ensaio consiste em o ácido clorídrico (inerte aos revestimentos) entrar em contato com o Zinco existente no Zamac, passando pelos poros dos revestimentos. O Zinco e o ácido clorídrico reagem entre si, liberando Hidrogênio, o que pode ser evidenciado pela presença de bolhas de gás.

As peças foram colocadas em um recipiente de vidro, após imersos totalmente por uma solução de ácido clorídrico a 3,5%, sem agitar, conforme Figura 22. Foi respeitado o tempo de 5 minutos e após realizada a verificação quanto à formação de bolhas de gás na solução ao entorno das peças.

Figura 22 – Ensaio de porosidade



Fonte: Próprio autor

3.8.5. Ensaio de aderência de tinta

O ensaio de aderência de tinta é baseado na norma da *ABNT NBR 15264:2005 Determinação da aderência de tinta à ação de escova de cabelo, para peças de calçados e acessórios*.

Durante o processo de produção de calçados e acessórios, as fivelas e enfeites são expostos ao atrito de várias maneiras. A mais severa delas é a escova rotativa de pelos. Se alguma das peças apresentar defeito, na maioria dos casos, todo o calçado ou acessório estará comprometido, pois a escovação é um processo de acabamento realizado com o calçado ou acessório pronto, e normalmente não é possível substituir a peça com defeito sem danificar o calçado ou acessório.

Utilizando um alicate para fixar as fivelas e enfeites foi realizada a escovação das peças, em máquina politriz rotativa equipada com escova de pelos com rotação de 1000 rpm. Para cada peça se respeitou o tempo de 1 minuto de escovação, conforme Figura 23. A avaliação se dá por comparação visual.

Figura 23 – Ensaio de aderência de tinta



Fonte: Próprio autor

3.8.6. Inspeção visual

A inspeção visual é realizada em 100% das peças. Ela é usada para identificar anomalias no produto final, tais como rebarbas, manchas, diferença de tonalidade, problemas na galvanoplastia, problemas no verniz e condições gerais das peças. Ela é realizada após todos os processos, para garantir que o cliente receba o produto conforme solicitou. Após a inspeção as peças são embaladas e enviadas para o cliente.

Esta inspeção é realizada em bancadas com iluminação adequada para melhor visualização das peças, conforme Figura 24.

Figura 24 – Processo de inspeção visual



Fonte: Próprio autor

3.9. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

A análise da viabilidade econômica irá definir a real economia da empresa com uso da sucata de peças técnicas com galvanoplastia em Cromo como matéria-prima para fundição de peças para calçados e acessórios, a matéria-prima representa aproximadamente 30% do custo das fivelas e dos enfeites.

Será considerado o processo atual, que é o beneficiamento desta sucata realizada por empresa fornecedora de Zamac, em comparação com a proposta da utilização desta sucata diretamente no processo de fundição das fivelas e enfeites, considerando a perda de material por escória e o custo com o beneficiamento desta escória.

No ano de 2014, a quantidade de sucata de peças técnicas representou aproximadamente 15 toneladas. Enviando esta sucata para beneficiamento, a

empresa recebe 35%³ do peso enviado em matéria-prima virgem, e paga o valor de R\$ 0,18⁴ por quilograma de matéria-prima virgem que retornar. A escória no beneficiamento tem um retorno para a empresa de 50%⁵ de seu peso em matéria-prima virgem e paga os mesmos R\$ 0,18 por quilograma que retornar. O valor do quilograma do Zamac é de R\$ 10,00⁶.

Para a análise da viabilidade econômica será utilizado apenas o maior percentual de escória, o qual foi encontrado na amostra B1, para definir no pior caso quanto será a economia da empresa com o uso de sucata como matéria-prima diretamente no processo de fundição.

³ Percentual obtido na data de 22 de fevereiro de 2015, com a empresa Minas Zinco

⁴ Valor obtido na data de 22 de fevereiro de 2015, com a empresa Minas Zinco

⁵ Percentual obtido na data de 22 de fevereiro de 2015, com a empresa Minas Zinco

⁶ Valor obtido na data de 22 de fevereiro de 2015, com a empresa Minas Zinco

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo apresentam-se os resultados do percentual de escória gerado, a análise térmica, a composição química e a análise da microestrutura para cada amostra. Ele relaciona estas informações com os resultados obtidos nos testes de desempenho, e apresenta a análise de viabilidade econômica.

4.1. FUNDIÇÃO POR GRAVIDADE DAS AMOSTRAS, VOLANTE B1 E CRUZETA C27

A fundição por gravidade foi realizada de maneira controlada. Com isso foi construída a Tabela 2, que mostra o peso da escória sobrenadante retirada do metal líquido antes do envamento, e apresenta o percentual desta escória sobre o peso total das amostras.

Tabela 2 – Escória gerada na fusão de cada amostra

Amostra	Peso total das amostras antes da fusão (g)	Peso total de escória após a fusão (g)	Percentual de escória na amostra fundida
Material Virgem	1281	14,0	1,09%
B1 s/ Galvanoplastia	1141	91,5	8,02%
B1 c/ Galvanoplastia	1140	176,0	15,44%
C27 s/ Galvanoplastia	1201	136,0	11,32%
C27 c/ Galvanoplastia	1217	181,0	14,87%

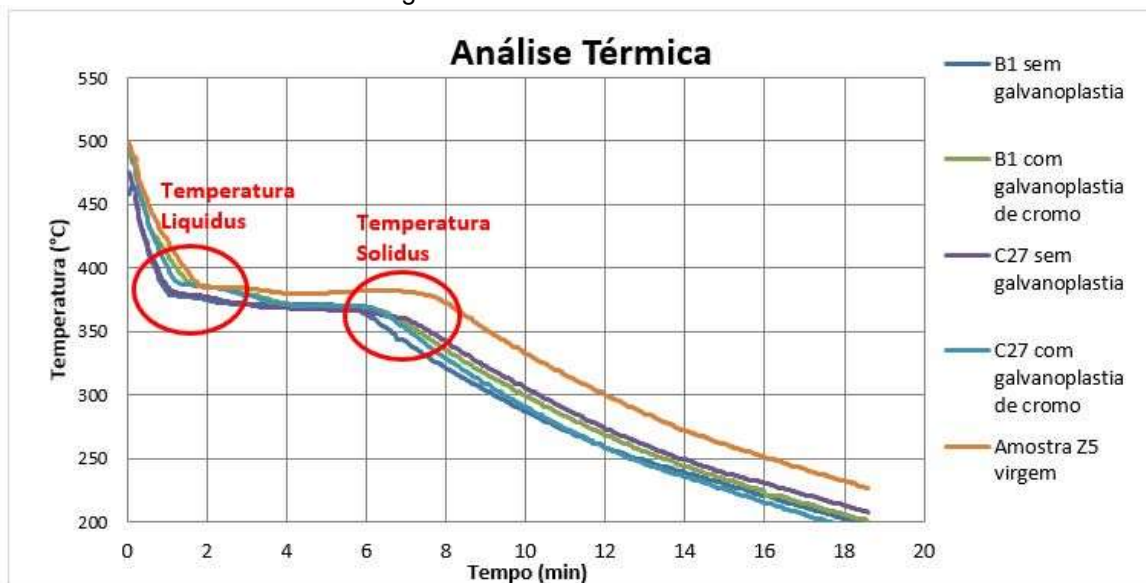
Fonte: Próprio autor

Observa-se na Tabela 2 que o material virgem apresentou menor percentual de escória. As amostras B1 e C27 sem galvanoplastia apresentaram o percentual de escória maior que o material virgem, o que era esperado, pois durante a fundição sob pressão (para obtenção das peças) os elementos de liga são oxidados, formando escória (RICK, 2006).

As amostras B1 e C27 com galvanoplastia apresentaram percentual maior de escória em comparação as mesmas amostras sem galvanoplastia. Observa-se um aumento no percentual de escória, o que está relacionado com a migração dos metais constituintes dos revestimentos eletrodepositados no processo galvânico.

A Figura 25 mostra o gráfico da análise térmica das amostras B1 sem galvanoplastia, B1 com galvanoplastia de Cromo, C27 sem galvanoplastia, C27 com galvanoplastia de Cromo e amostra de material virgem para controle.

Figura 25 – Gráfico da análise térmica



Fonte: Próprio autor

Observa-se na Figura 25 que o comportamento de todas as amostras é semelhante. Acontece uma diminuição inicial de temperatura, até aproximadamente 390°C. A temperatura se estabiliza por um período e volta a diminuir. A temperatura liquidus onde ocorre uma estabilização da temperatura indica o início da formação da fase primária. Já a temperatura solidus, onde apresenta um decréscimo de mais acelerado na temperatura indica o final da solidificação do material e a tendência de o material agora já sólido entrar em equilíbrio térmico com o ambiente. Para melhor entendimento do gráfico, foi construída a Tabela 3.

Tabela 3 – Dados análise térmica

Amostra	Ponto no gráfico	Temperatura (°C)	Varição de temperatura (°C)	Varição de Tempo (min)	Taxa de resfriamento °C/min
Amostra Z5 virgem	Liquidus	390 °C	10	5,63	1,78
	Solidus	380 °C			
B1 sem galvanoplastia	Liquidus	388 °C	19	4,70	4,04
	Solidus	369 °C			
B1 com galvanoplastia de cromo	Liquidus	395 °C	27	4,70	5,74
	Solidus	368 °C			
C27 sem galvanoplastia	Liquidus	384 °C	22	5,80	3,79
	Solidus	362 °C			
C27 com galvanoplastia de cromo	Liquidus	397 °C	27	4,83	5,59
	Solidus	370 °C			

Fonte: Próprio autor

A análise do gráfico da Figura 25 e a Tabela 3, permitem evidenciar que, como esperado, a amostra de material virgem apresenta uma taxa de resfriamento menor que as demais amostras. As amostras B1 e C27 sem galvanização apresentam taxa de resfriamento maior que a amostra de material virgem, isso devido à oxidação dos elementos de liga durante o processo de fundição sob pressão o qual as amostras foram submetidas anteriormente. Esta oxidação dos componentes também foi evidenciada na quantidade de escória gerada na fundição controlada, Tabela 2.

As amostras B1 e C27 com galvanoplastia apresentaram taxa de resfriamento maior que as mesmas amostras ainda cruas, isso devido à adição de contaminantes, principalmente o Cobre, estes oriundos do processo de eletrodeposição. Estudos, (RICK, 2006; COSTA et al, 2009) demonstram que adição de Cobre na liga causa uma

redução de cerca de 25% no intervalo de solidificação comparado à liga comercial virgem.

4.2. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO VOLANTE B1 E DA CRUZETA C27, AMBOS COM E SEM PROCESSO GALVÂNICO

A composição química foi realizada para analisar o material usado para fundição das peças B1 e C27, a composição das amostras B1 e C27 após o processo de fundição sob pressão e para analisar a adição dos contaminantes oriundos do processo galvânico nas amostras B1 e C27.

Com o acompanhamento das amostras B1 e C27 durante o processo de eletrodeposição, foi possível mensurar, em gramas, a quantidade dos metais Cobre, Níquel e Cromo depositados nas peças. As Tabelas 4 e 5 mostram a posição da peça na gancheira, conforme Figura 9, a massa da peça crua antes do processo galvânico, a massa da peça após cada processo de eletrodeposição (Cobre alcalino/Cobre ácido, Níquel e Cromo) e a massa de cada metal adicionado durante os processos de eletrodeposição (Cobre, Níquel e Cromo). As Tabelas 4 e 5 também apresentam a média dessas massas, pois devido à posição da peça na gancheira a eletrodeposição dos metais é diferente.

Tabela 4 - Acréscimo dos metais depositados na peça B1

Volante para torneira Ref. B1								
	Posição da peças na gancheira	Peso da peça crua (g)	Peso da peça após eletrodeposição de cobre alcalino e cobre ácido (g)	Peso do cobre depositado na peça (g)	Peso da peça após eletrodeposição de níquel (g)	Peso do níquel depositado na peça (g)	Peso da peça após eletrodeposição de cromo (g)	Peso do cromo depositado na peça (g)
1		53,510	55,732	2,222	56,270	0,537	56,275	0,006
2		53,477	55,594	2,117	56,147	0,553	56,152	0,005
3		55,771	57,650	1,879	58,222	0,572	58,230	0,008
4		56,013	57,771	1,758	58,312	0,541	58,323	0,011
5		55,553	57,367	1,814	57,956	0,589	57,964	0,008
Média		54,865	56,823	1,958	57,381	0,558	57,389	0,007
	% dos metais depositados na peça, incluindo o peso peça crua	95,602%		3,412%		0,973%		0,013%
	Peso total dos metais depositados na peça		2,524 gramas					

* erro de medição da balança 0,001

Fonte: Próprio autor

Tabela 5 - Acréscimo dos metais depositados na peça C27

Cruzeta para torneira Ref. C27							
Posição da peças na gancheira							
1	148,486	150,532	2,047	151,058	0,525	151,063	0,005
2	148,291	150,112	1,820	150,660	0,549	150,664	0,003
3	148,310	150,148	1,838	150,835	0,687	150,841	0,006
4	148,187	150,299	2,112	151,011	0,712	151,018	0,007
5	148,184	150,043	1,859	150,796	0,752	150,806	0,010
Média	148,292	150,227	1,935	150,872	0,645	150,878	0,006
% dos metais depositados na peça, incluindo o peso peça crua	98,286%		1,283%		0,428%		0,004%
Peso total dos metais depositados na peça		2,587 gramas					

* erro de medição da balança 0,001

Comparando as Tabelas 4 e 5 pode ser observado que a massa média em gramas dos metais depositados para as duas amostras é semelhante, devido a pouca diferença entre as superfícies das peças B1 (106,09 cm²) e C27 (73,05 cm²).

O Cobre depositado nos banhos de Cobre alcalino e ácido para amostras B1 foi 1,958 gramas, enquanto para amostra C27 foi 1,935, o Níquel depositado na B1 foi 0,558 gramas, na C27 foi 0,645 gramas, por fim o Cromo depositado na amostra B1 foi de 0,007 gramas e na amostra C27 foi de 0,006.

Analisando a relação média da massa dos metais depositados com a massa da matéria-prima da amostra, as amostras B1 e C27 apresentam valores diferentes.

A amostra B1 apresenta 3,412% de Cobre depositado nos banhos de Cobre alcalino e ácido e a amostra C27 apresenta 1,283%, o Níquel apresentou o percentual na B1 de 0,973% e na C27 foi 0,428%, por sua vez o Cromo na amostra B1 foi 0,013% e na amostra C27 foi 0,004%.

Como esperado, devido à diferença na relação área superficial pelo volume da peça (Zamac), a amostra B1 apresentou o percentual de metais depositados no processo galvânico superior a amostra C27, o que demonstra que a definição das peças escolhidas para o estudo foi correta. Assim, a amostra B1 tem em percentual a maior adição de contaminantes oriundos dos processos galvânicos e a amostra C27 tem a menor adição. Portanto, os demais itens de peças técnicas com galvanoplastia em Cromo, encontram-se entre os percentuais das amostras B1 e C27.

As análises de composição química foram realizadas com uso da técnica de Espectroscopia de Emissão Óptica. Os resultados obtidos referem-se a média de 4 análises realizadas em pontos distintos da mesma amostra. Foram realizadas

análises nas amostras de peças B1 sem galvanoplastia, B1 com galvanoplastia de Cromo, C27 sem galvanoplastia, C27 com galvanoplastia de Cromo e amostra de material virgem utilizado como controle.

A Tabela 6 apresenta as faixas de composição química para a liga Z5 conforme especificações da ASTM B240-07 (VOTORANTIM, 2015) e os resultados de composição química para cada elemento da liga (Zinco, Alumínio, Magnésio e Cobre) e das impurezas (Níquel e Cromo), todos em percentual de massa.

Tabela 6 - Análise de composição química

Amostras	Zn %	Al %	Mg %	Cu %	Ni %	Cr %
Especificações ASTM B240-07	Restante	3,9 - 4,3	0,03 - 0,06	0,75 - 1,25	< 0,02	< 0,02
Virgem	95,000	3,790	0,040	1,120	0,015	0,001
B1 s/eletrod.	95,250	3,570	0,037	1,030	0,002	0,002
B1 c/eletrod.	92,100	3,480	0,036	3,600	0,060	0,009
C27 s/eletrod.	95,200	3,480	0,038	1,110	0,013	0,001
C27 c/eletrod.	93,800	3,450	0,039	2,280	0,038	0,003

Fonte: Próprio autor

Na Tabela 6 pode ser observado que a amostra de material virgem usada como controle apresentou seus elementos de liga dentro das tolerâncias conforme especificações da ASTM B240-07 (VOTORANTIM, 2015).

As amostras B1 sem galvanoplastia e C27 sem galvanoplastia, as quais passaram por um processo de fundição sob pressão e após foram fundidas por gravidade, apresentaram redução em seus componentes de liga (Alumínio, Magnésio e Cobre), devido à oxidação durante o processo de fundição, o que concorda com os resultados de quantidade de escória e da análise térmica (RICK, 2006).

A adição de metais pelo processo de galvanoplastia ocasionou, conseqüentemente, um aumento no percentual de Cobre, Níquel e Cromo nas amostras B1 e C27. Na amostra B1 houve um aumento de Cobre de 1,030% para 3,600%, enquanto o Níquel foi de 0,002% para 0,060% e o Cromo aumentou de 0,002% para 0,009%. A amostra C27 com galvanoplastia teve aumento do Cobre de 1,110% para 2,280%, o Níquel foi de 0,013% para 0,038% e o Cromo aumentou de 0,001% para 0,003%.

Como esperado, ficou evidenciado com as análises da composição química que a amostra B1 com galvanoplastia teve aumento percentual maior de Cobre, Níquel e Cromo do que a amostra C27 com galvanoplastia, devido à relação área superficial pela massa da peça.

A Tabela 7 faz a comparação da quantidade dos metais já existentes na liga composta por peças B1 sem galvanoplastia com a quantidade dos metais existentes na liga composta por peças B1 com galvanoplastia. Ela também compara a quantidade total dos metais eletrodepositados no processo galvânico com a quantidade dos metais eletrodepositados que realmente incorporaram na liga, assim como a quantidade dos metais eletrodepositados que migraram para escória.

Tabela 7 - Incorporação de elementos a liga fundida por gravidade composta por peças B1 com galvanoplastia

Incorporação de elementos a liga fundida por gravidade composta por peças B1 com galvanoplastia						
A	B	C	D	E	F	G
Elemento	Massa dos metais existente na amostra feita de peças B1 <u>sem</u> galvanoplastia (g)	Média da massa dos metais eletrodepositados sobre as peças B1 no processo de galvanização (g)	Massa dos metais existente na amostra feita de peças B1 <u>após</u> a galvanoplastia (g)	Massa dos metais eletrodepositados que incorporaram à amostra (D-B) (g)	Percentual dos metais eletrodepositados que incorporaram a amostra (E/C)	Percentual dos metais eletrodepositados que não incorporaram a amostra e migraram para escória (100%-F)
Cu	0,565	1,958	2,066	1,501	77%	23%
Ni	0,001	0,558	0,034	0,033	6%	94%
Cr	0,001	0,007	0,005	0,004	58%	42%

Fonte: Próprio autor

Analisando a Tabela 7 pode ser observada a massa em gramas dos metais Cobre, Níquel e Cromo. A amostra composta por peças B1 sem galvanoplastia apresentou 0,565 gramas de Cobre, 0,001 gramas de Níquel e 0,001 gramas de Cromo.

Durante o processo galvânico foram eletrodepositados sobre as peças B1(peças idênticas as que compõem a amostra B1 sem galvanização) 1,958 gramas de Cobre, 0,558 gramas de Níquel e 0,007 gramas de Cromo.

Na amostra composta por peças B1 com galvanoplastia a quantidade de Cobre foi de 2,066 gramas, Níquel foi de 0,034 gramas e Cromo foi de 0,005 gramas.

Analisando a quantidade de metais existentes na amostra B1 com galvanoplastia e subtraindo dela a quantidade que já existia na liga B1 sem galvanoplastia, é obtida a quantidade de Cobre, Níquel e Cromo que incorporou a liga devido à adição destes elementos pelo processo galvânico. O Cobre incorporou 1,501 gramas, o Níquel 0,033 gramas e o Cromo incorporou 0,004 gramas.

O percentual de incorporação à amostra dos metais eletrodepositados foi de 77% para o Cobre, 6% para o Níquel e 58% para o Cromo. Já a quantidade de metais que migraram para escória, foi de 23% para o Cobre, 94% para o Níquel e 42% para o Cromo.

A Tabela 8 faz a comparação da quantidade dos metais já existentes na liga composta por peças C27 sem galvanoplastia com a quantidade dos metais existentes na liga composta por peças C27 com galvanoplastia. Ela também compara a quantidade total dos metais eletrodepositados no processo galvânico com a quantidade dos metais eletrodepositados que realmente incorporaram na liga, assim como a quantidade dos metais eletrodepositados que migraram para escória.

Tabela 8 - Incorporação de elementos a liga fundida por gravidade composta por peças C27 com galvanoplastia

Incorporação de elementos a liga fundida por gravidade composta por peças C27 com galvanoplastia						
A	B	C	D	E	F	G
Elemento	Massa dos metais existente na amostra feita de peças C27 <u>sem</u> galvanoplastia (g)	Média da massa dos metais eletrodepositados <u>sobre</u> as peças C27 no processo de galvanização (g)	Massa dos metais existente na amostra feita de peças C27 <u>após</u> a galvanoplastia (g)	Massa dos metais eletrodepositados que incorporaram à amostra (D-B) (g)	Percentual dos metais eletrodepositados que incorporaram a amostra (E/C)	Percentual dos metais eletrodepositados que não incorporaram a amostra e migraram para escória (100%-F)
Cu	1,646	1,935	3,440	1,794	93%	7%
Ni	0,019	0,645	0,057	0,038	6%	94%
Cr	0,001	0,006	0,005	0,004	62%	38%

Fonte: Próprio Autor

Analisando a Tabela 8 pode ser observada a massa em gramas dos metais Cobre, Níquel e Cromo. A amostra composta por peças C27 sem galvanoplastia apresentou 1,646 gramas de Cobre, 0,019 gramas de Níquel e 0,001 gramas de Cromo.

Durante o processo galvânico foram eletrodepositados sobre as peças C27(peças idênticas as que compõem a amostra C27 sem galvanização) 1,935 gramas de Cobre, 0,645 gramas de Níquel e 0,006 gramas de Cromo.

Na amostra composta por peças C27 com galvanoplastia a quantidade de Cobre foi de 3,440 gramas, Níquel foi de 0,057 gramas e Cromo foi de 0,005 gramas.

Analisando a quantidade de metais existentes na amostra C27 com galvanoplastia e subtraindo dela a quantidade que já existia na liga C27 sem galvanoplastia, obtemos a quantidade de Cobre, Níquel e Cromo que incorporou a liga devido à adição destes elementos pelo processo galvânico. O Cobre incorporou 1,794 gramas, o Níquel 0,038 gramas e o Cromo incorporou 0,004 gramas.

O percentual de incorporação à amostra dos metais eletrodepositados foi de 93% para o Cobre, 6% para o Níquel e 62% para o Cromo. Na escória, estes percentuais foram de 7% para o Cobre, 94% para o Níquel e 38% para o Cromo.

Com o aumento do Cobre a liga perde resistência ao choque e estabilidade dimensional. Mas como sua aplicação será em fivelas e enfeites para calçados e acessórios, isso não representa restrições quanto ao seu uso. Elas são peças de tamanho pequeno e não exigem tolerâncias dimensionais precisas, e além disso, desempenho mecânico requerido é de baixas tensões.

O elemento Níquel existente na liga está acima do percentual recomendado nas amostras B1 com galvanoplastia e C27 com galvanoplastia, o valor recomendado é de 0,02% (VOTORANTIM, 2015), na amostra B1 com galvanoplastia é de 0,06% e na amostra C27 com galvanoplastia é de 0,038%.

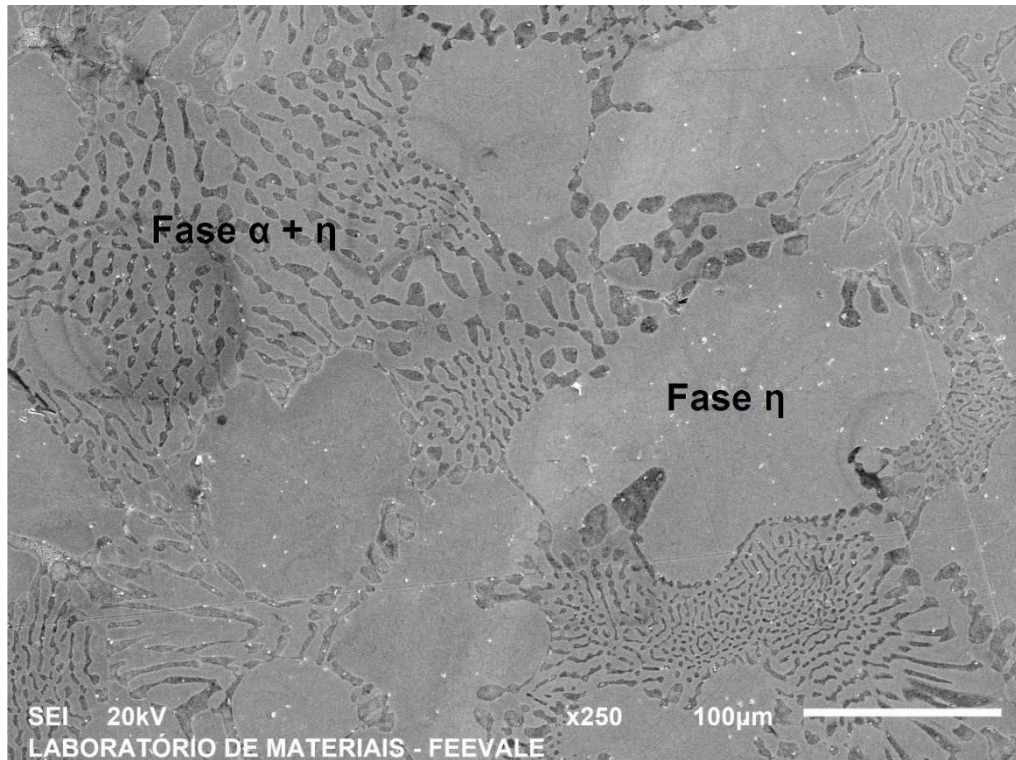
Os ensaios e os testes de desempenho irão comprovar a influência do aumento do componente da liga Cobre e do contaminante Níquel, ambos fora do percentual recomendado para fundição sob pressão.

4.3. ANÁLISE DA MICROESTRUTURA

As análises das microestruturas foram realizadas nas amostras fundidas por gravidade e em fivelas e enfeites fundidos sob pressão.

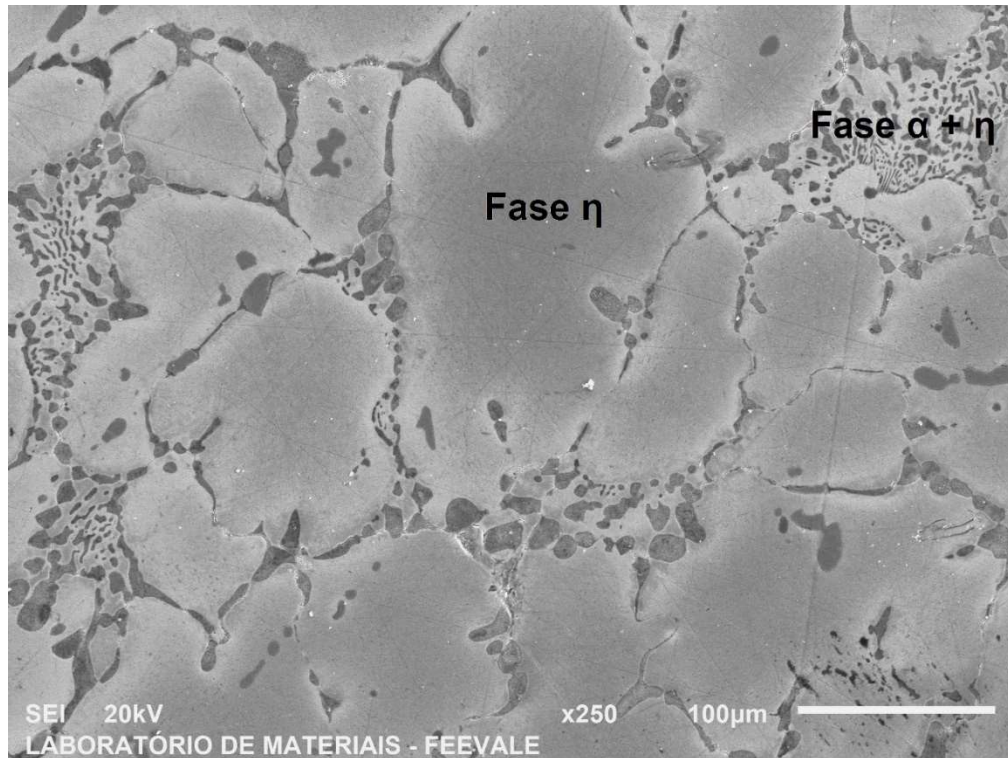
As Figuras 26, 27 e 28 mostram a microestrutura das amostras fundidas por gravidade. A Figura 26 é da amostra controle (liga Z5 virgem), enquanto que a Figura 27 é da amostra fundida a partir de peças B1 com galvanoplastia e a Figura 28, da amostra fundida a partir de peças C27 com galvanoplastia.

Figura 26 – Microestrutura da amostra controle fundida por gravidade



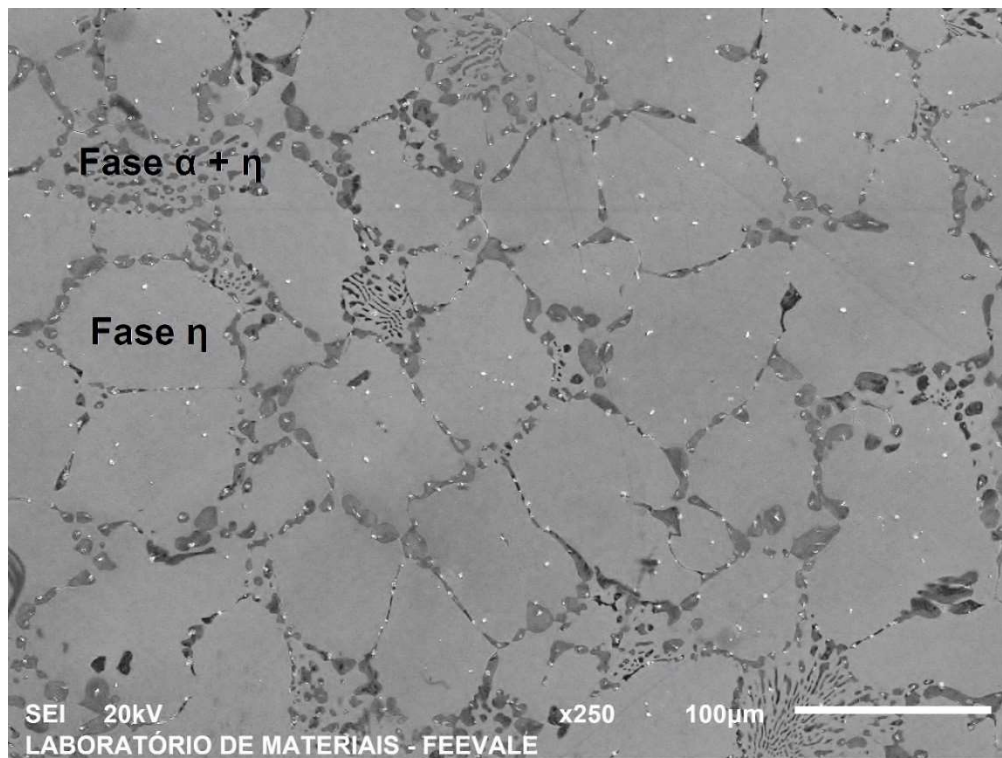
Fonte: Próprio autor

Figura 27 – Microestrutura da amostra de peças B1 fundida por gravidade



Fonte: Próprio autor

Figura 28 – Microestrutura da amostra de peças C27 fundida por gravidade



Fonte: Próprio autor

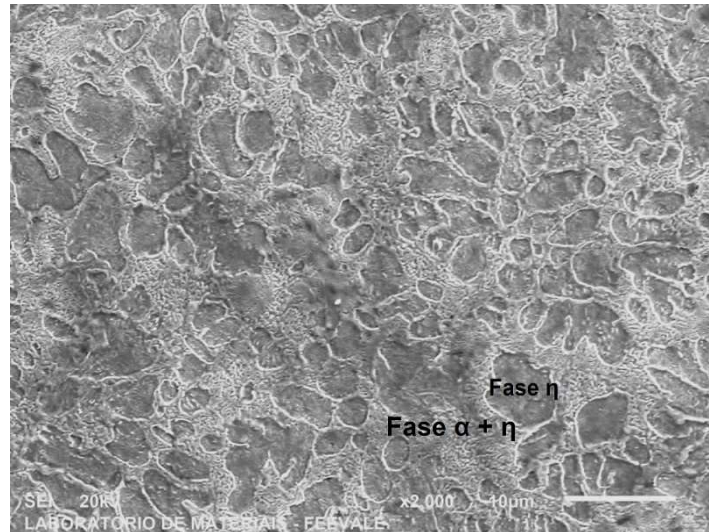
Nas Figuras 26, 27 e 28, observa-se a presença da fase eutética $\alpha + \eta$ e a fase primária dendrítica η , não se observa a presença de novas fases nas amostras de peças B1 e C27. Assim, foi evidenciado que as amostras fundidas com sucata apresentaram redução na proporção da estrutura lamelar, regiões eutéticas dos componentes da liga, e conseqüentemente um aumento considerável na proporção da fase primária dendrítica η . Isso se deve ao aumento do percentual de Cobre na liga, concordando com os resultados da literatura (RICK, 2006).

A redução na proporção da estrutura eutética encontrada nas amostras B1 e C27 com galvanoplastia explica o comportamento distinto na análise térmica destas amostras em comparação a análise térmica do material virgem (Figura 25).

Na análise das fivelas e enfeites fundidos sob pressão eles foram comparados sempre em pares, peças produzidas com material virgem e peças

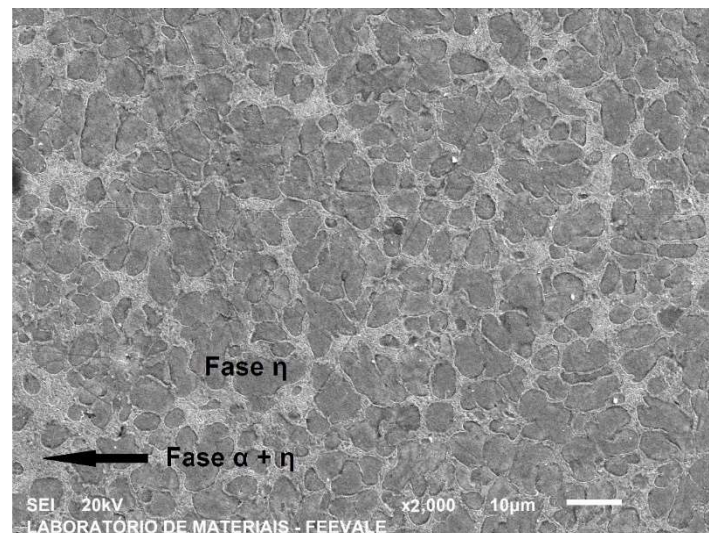
produzidas com sucata. A Figura 29 mostra a microestrutura de uma fivela fundida sob pressão com material virgem e a Figura 30 mostra a microestrutura de uma fivela fundida sob pressão com sucata.

Figura 29 – Microestrutura da fivela fundida sob pressão com material virgem



Fonte: Próprio autor

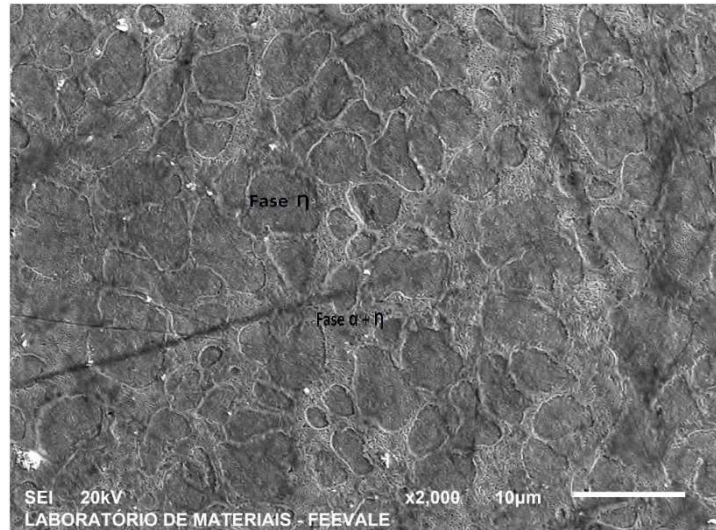
Figura 30 – Microestrutura da fivela fundida sob pressão com sucata



Fonte: Próprio autor

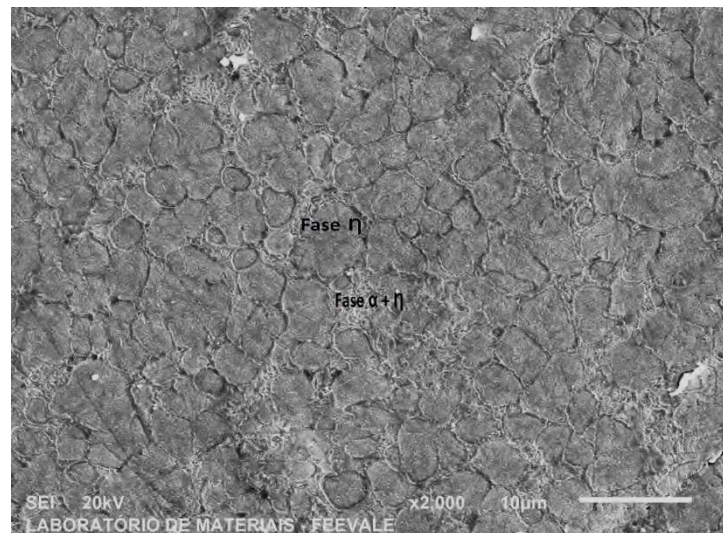
A Figura 31 mostra a microestrutura de um Enfeite fundido sob pressão com material virgem e a Figura 32 mostra a microestrutura de um enfeite fundido sob pressão com uso de sucata.

Figura 31 – Microestrutura do enfeite fundido sob pressão com material virgem



Fonte: Próprio autor

Figura 32 – Microestrutura do enfeite fundido sob pressão com sucata



Fonte: Próprio autor

Pode ser observado nas amostras fundidas sob pressão que a fase primária formada apresentou um refinamento da microestrutura, conforme estudos anteriores (FÜHR, 2012), na ordem de 10 a 15 vezes menor que nas amostras fundidas por gravidade. Isso se deve à velocidade de resfriamento, obtido por meio de refrigeração forçada da matriz com uso de água refrigerada a temperatura de 25°C.

Como esperado, da mesma maneira que nas amostras fundidas por gravidade, as peças fundidas sob pressão com uso de sucata apresentaram menor

quantidade de estruturas eutéticas e maior quantidade de fase primária que as amostras produzidas com material virgem. Isso é justificado pelo aumento de Cobre conforme (MOJAVER; SHAHVERDI, 2011; GANIVET, 1987).

Os testes de desempenho comprovarão a influência destas mudanças nas microestruturas das fivelas e Enfeites.

4.4. TESTES DE DESEMPENHO DAS FIVELAS E DOS ENFEITES

Os testes de desempenho são de extrema importância para a validação do uso de sucata como matéria-prima para fundição sob pressão de fivelas e enfeites.

4.4.1. Propriedades mecânicas das fivelas

As propriedades mecânicas pertinentes as fivelas foram analisadas com uso de ensaios de tração e compressão, realizado nas amostras com galvanoplastia de Níquel.

4.4.1.1. *Ensaio de tração da fivela*

Para o ensaio de tração foram analisadas 12 fivelas com galvanoplastia em Níquel, 6 produzidas de matéria-prima virgem e 6 produzidas com uso de sucata de diversas peças técnicas em Cromo.

A Tabela 9 apresenta os valores encontrados no ensaio de tração para as amostras fabricadas com matéria-prima virgem e com uso de sucata.

Tabela 9 – Tabela do ensaio de tração das fivelas de material virgem e de sucata

Amostras com material virgem			Amostras com sucata		
Amostra	Força (N)	Deformação (mm)	Amostra	Força (N)	Deformação (mm)
1	513	0,99	1	1163	1,98
2	476	1,02	2	842	2,05
3	445	1,03	3	1156	2,1
4	457	0,96	4	1031	1,97
5	450	0,96	5	935	1,97
6	468	0,98	6	971	1,99
Média	468	0,99	Média	1016	2,01
Mínimo	445	0,96	Mínimo	842	1,97

Fonte: Próprio autor

Como o comportamento das amostras no ensaio de tração foi semelhante, foi construído o gráfico (Figura 33) com as médias das amostras.

Figura 33 – Gráfico do ensaio de tração das fivelas de material virgem e de sucata



Fonte: Próprio autor

O ensaio de tração comprovou que todas as amostras atenderam a exigência mínima de resistência à tração que é de 250N, conforme ABNT NBR 15174:2014.

O menor valor encontrado no ensaio foi de 445N em uma fivela de material virgem. A média das fivelas de material virgem de 468N.

Nas fivelas produzidas com sucata o valor mínimo de resistência à tração encontrada foi de 842N, a média das amostras produzidas com sucata foi de 1.016N.

O ensaio evidenciou que a deformação das amostras fundidas com uso de sucata foi maior que as de material virgem. As peças produzidas com material virgem deformaram em média 0,99mm até a ruptura. As amostras produzidas com sucata deformaram em média 2,01mm.

Como esperado as amostras produzidas com uso de sucatas de diversas peças técnicas em Cromo apresentaram desempenho superior às amostras de material virgem, devido à mudança na sua microestrutura (Figura 30) ocasionada pela adição de Cobre na composição da liga, conforme estudos anteriores (CARDINALI; TOLEDO, 2011).

As deformações encontradas nas amostras produzidas com uso de sucata também apresentam desempenho superior, pois fivelas e enfeites podem passar por processos de montagem a frio.

4.4.1.2. Ensaio de compressão da fivela

Para o ensaio de compressão foram analisadas 12 fivelas com galvanoplastia em Níquel, 6 produzidas de matéria-prima virgem e 6 produzidas com uso de sucata de diversas peças técnicas em Cromo.

A Tabela 10 apresenta os valores encontrados no ensaio de compressão para as amostras fabricadas com matéria-prima virgem e com uso de sucata.

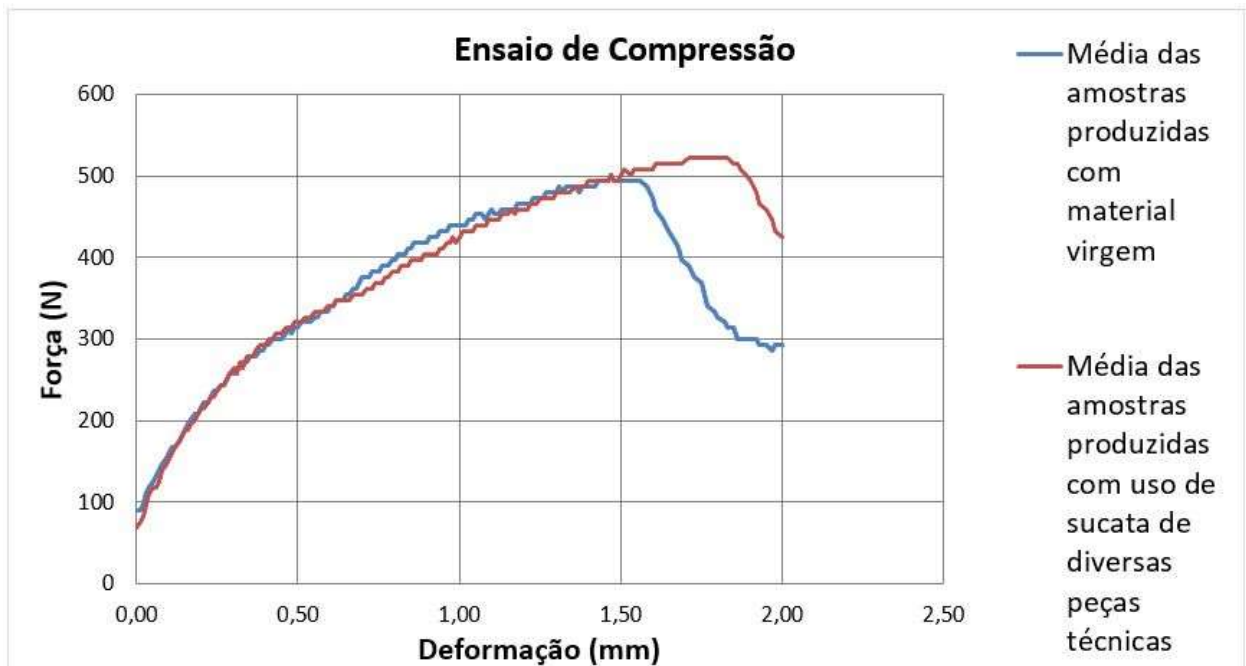
Tabela 10 – Tabela do ensaio de compressão das fivelas de material virgem e de sucata

Amostras com material virgem			Amostras com sucata		
Amostra	Força (N)	Deformação (mm)	Amostra	Força (N)	Deformação (mm)
1	512	1,55	1	530	1,9
2	485	1,52	2	517	1,85
3	497	1,53	3	518	1,83
4	507	1,52	4	523	1,84
5	507	1,56	5	525	1,8
6	500	1,52	6	519	1,88
Média	501	1,53	Média	522	1,85
Mínimo	485	1,52	Mínimo	517	1,8

Fonte: Próprio autor

Como comportamento das amostras foi semelhante foi construído o gráfico (Figura 34) com as médias das amostras.

Figura 34 – Gráfico do ensaio de compressão das fivelas de material virgem e de sucata



Fonte: Próprio autor

O ensaio de compressão comprovou que todas as amostras atenderam a exigência mínima de resistência à compressão que é de 250N, conforme ABNT NBR 15174:2014.

A média de resistência à compressão nas fivelas de material virgem foi de 501N, já nas fivelas fundidas com uso de sucata foi de 522N. A média da

deformação também apresentou diferença entre os materiais, nas de material virgem foi de 1,53mm e nas de sucata foi de 1,85mm, apresentando uma diferença de 0,22mm.

Da mesma forma que no ensaio de tração, como esperado as amostras produzidas com uso de sucatas de diversas peças técnicas com galvanoplastia em Cromo apresentaram desempenho superior às amostras de material virgem, devido a mudança na sua microestrutura.

4.4.2. Ensaio de resistência à corrosão (*salt spray*) da fivela e enfeite

Para a realização do ensaio de resistência à corrosão foram comparadas 24 amostras, sendo 12 fundidas com uso de sucata, 6 fivelas e 6 enfeites e 12 amostras produzidas com material virgem, da mesma maneira, 6 fivelas e 6 enfeites.

Todas as amostras foram revestidas com galvanoplastia rotativa de Níquel com posterior aplicação de verniz à base de resina epóxi.

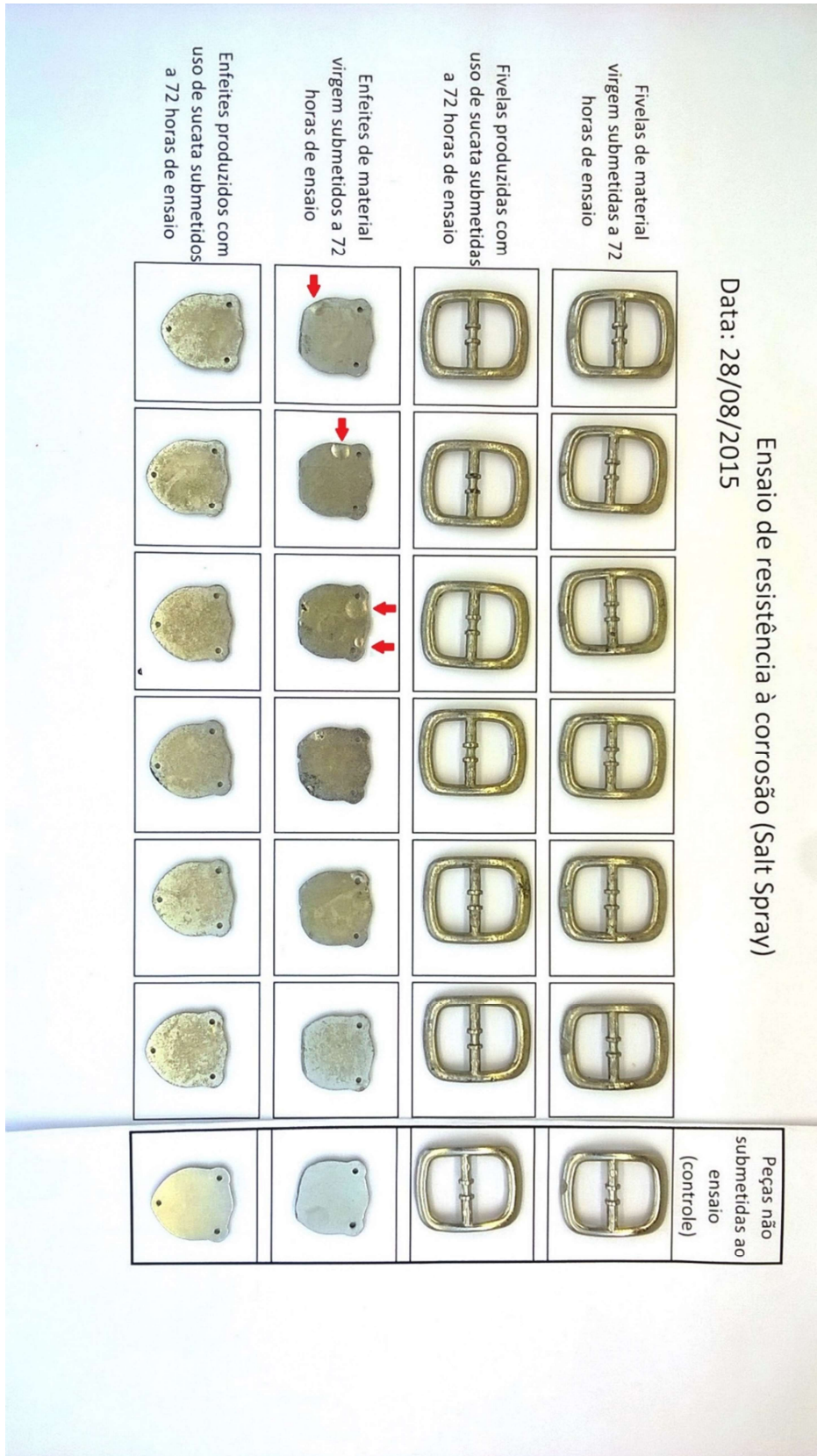
As amostras foram analisadas com 72 horas de exposição, elas foram retiradas da câmara, lavadas, analisadas e fotografadas, conforme Figuras 35 e 36.

Figura 35 – Ensaio de corrosão, lado "A" das amostras



Fonte: Próprio autor

Figura 36 – Ensaio de corrosão, lado “B” das amostras



Fonte: Próprio autor

Nas Figuras 35 e 36 pode ser observado o escurecimento das amostras, o que indica formação de áreas de corrosão. Nos Enfeites pode ser observado o aparecimento de bolhas.

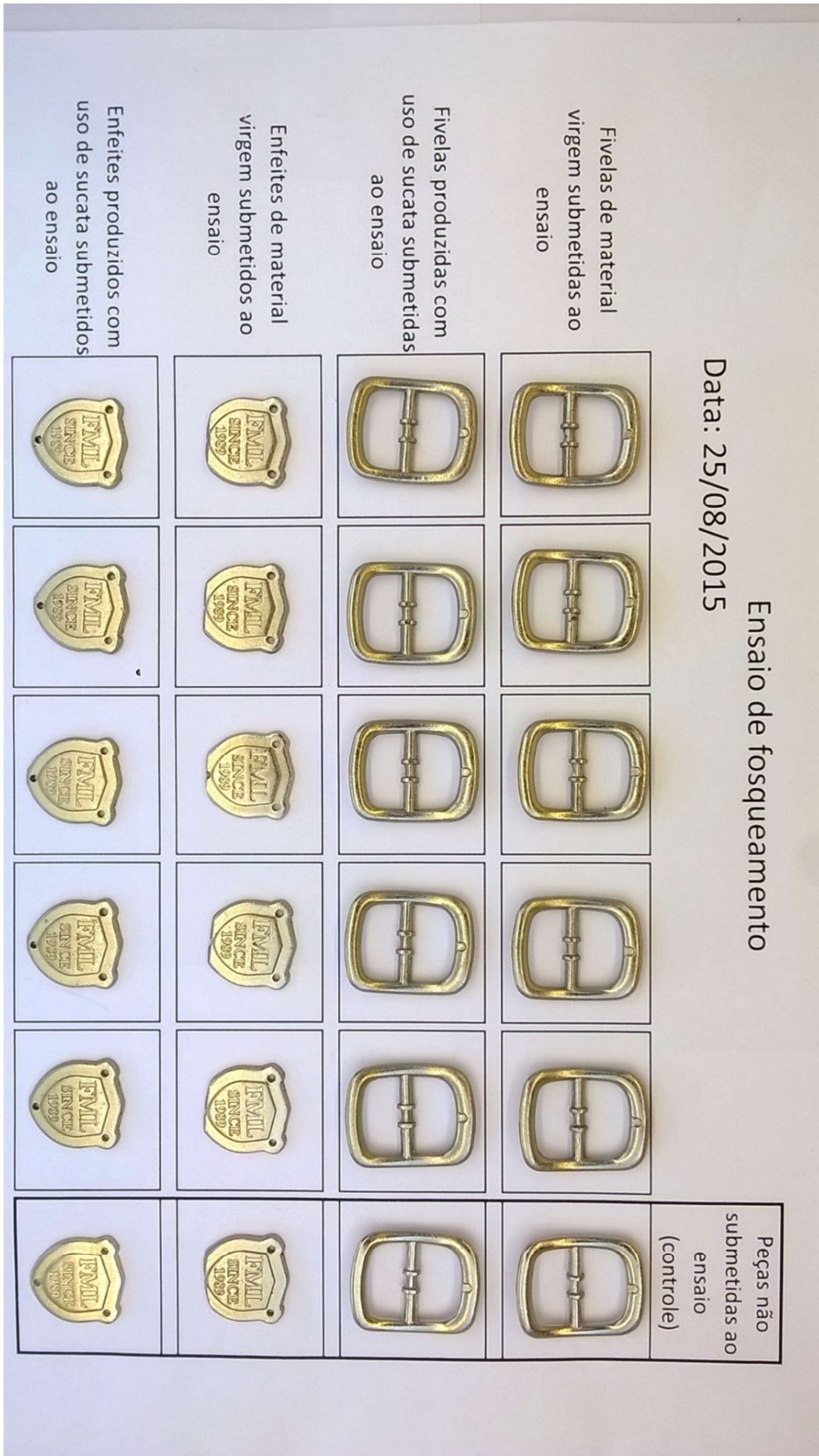
Os resultados obtidos neste ensaio comprovam que as amostras produzidas com sucata e com material virgem sofreram corrosões similares, salientando que nas amostras com superfície plana (Enfeites) de material virgem o aparecimento de bolhas ocorreu em 60% das amostras, enquanto, nas amostras fundidas com sucata apenas 20% apresentaram bolha. Constatando assim, que o uso de sucata de peças técnicas com galvanoplastia em Cromo como matéria prima satisfaz as condições necessárias para aprovação neste ensaio.

4.4.3. Ensaio de fosqueamento

No ensaio de fosqueamento foram utilizadas 20 peças, 10 fundidas com uso de sucata e 10 produzidas com matéria-prima virgem, para ambos os materiais 5 fivelas e 5 enfeites, todas as amostras revestidas com galvanoplastia rotativa de Níquel com posterior aplicação de verniz à base de resina epóxi.

Transcorrido o tempo de 1 hora as amostras foram retiradas da estufa, do recipiente e avaliadas ao lado de amostras de controle, as quais não foram submetidas ao ensaio para permanecerem nas condições originais, Figura 37.

Figura 37 – Ensaio de Fosqueamento



Fonte: Próprio autor

As fivelas e enfeites fundidos com material virgem e com sucata apresentaram desempenho satisfatório neste ensaio, não existindo reprovações em nenhuma das 20 amostras, conforme ABNT NBR 14369:2016.

4.4.4. Ensaio de porosidade

No ensaio de porosidade foram avaliadas 10 amostras de fivelas, 5 de material virgem e 5 fundidas com sucata, da mesma maneira 10 amostras de enfeites. Todas as amostras revestidas com galvanoplastia rotativa de Níquel com posterior aplicação de verniz à base de resina epóxi.

A Figura 38 apresenta o resultado do ensaio de porosidade.

Figura 38 – Ensaio de porosidade



Fonte: Próprio autor

Houve formação de bolhas de gás, como evidenciado na Figura 38. A quantidade de bolhas formada foi relativamente pequena em duas fivelas de material virgem e em uma fivela produzida com sucata. Nos enfeites, apenas um produzido com sucata apresentou uma única bolha.

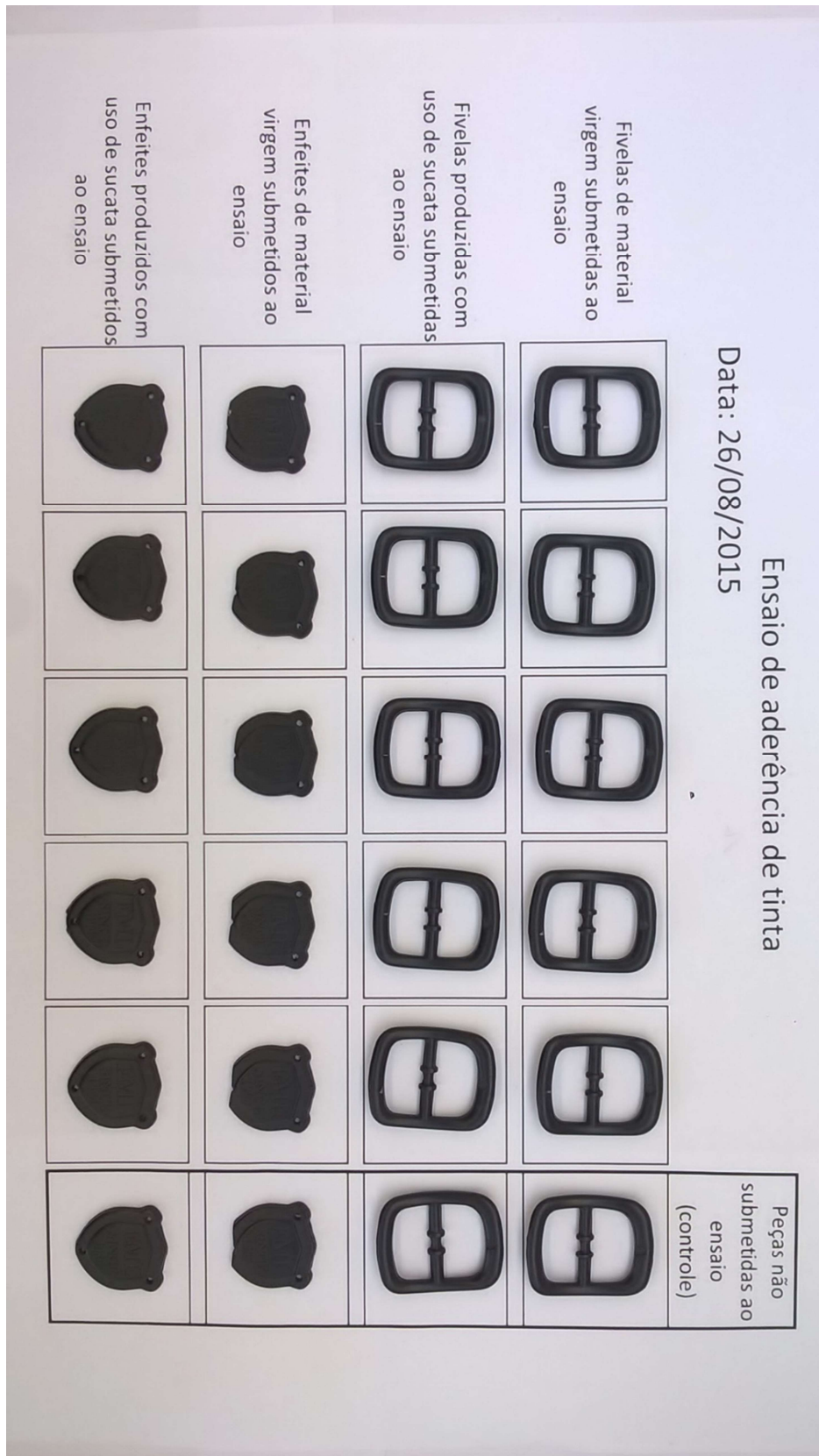
Segundo os critérios da norma ABNT NBR 14223:2012, todas as amostras foram aprovadas com qualidade considerada nível 3 (boa qualidade).

4.4.5. Ensaio de aderência de tinta

Foram avaliadas 10 amostras de fivelas e 10 amostras de enfeites, sendo em ambos os casos 5 produzidas com material virgem e 5 produzidas com uso de sucata. Todas as amostras revestidas com galvanoplastia rotativa de Níquel com posterior aplicação de verniz à base de resina epóxi.

A Figura 39 apresenta o resultado do ensaio de aderência de tinta.

Figura 39 – Ensaio de aderência de tinta



Fonte: Próprio autor

Nas amostras ensaiadas não houve o aparecimento de bolhas, deslocamento, remoção total ou parcial de tinta, as amostras permaneceram intactas.

O ensaio comprovou que as peças de material virgem e de sucata satisfazem os requisitos exigidos pela norma ABNT NBR 15264:2005.

4.4.6. Inspeção visual

Na inspeção visual foram analisados 4 lotes de 100 peças cada, os lotes foram divididos em fivelas e enfeites fundidos com material virgem e fivelas e enfeites fundidos com uso de sucata.

Os lotes foram avaliados utilizando os critérios de qualidade exigidos pela empresa e clientes.

Para fivelas e enfeites em Níquel, o percentual de rejeição aceitável é de 1%.

Nos lotes inspecionados, todas as amostras apresentaram qualidade satisfatória, não foi constatado nenhum defeito que impedisse sua comercialização.

4.5. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Para realizar a análise de viabilidade econômica foi convertido o peso da matéria-prima resultante do beneficiamento total da sucata em reais e subtraído o valor gasto com o retorno deste beneficiamento. Como comparação foi convertido o peso útil resultante da sucata em reais, conforme valor do kg do Zamac.

Enviando as 15 toneladas de sucata para beneficiamento obtêm-se um retorno de 35% deste peso em matéria-prima virgem, ou seja 5.250kg. A empresa

que realiza o beneficiamento cobra R\$ 0,18 por kg de matéria-prima que retornar, assim representando um custo de R\$ 945,00. Convertendo os 5.250kg em reais obtêm-se o valor de R\$ 52.500,00, subtraindo deste valor o custo do beneficiamento, o resultado obtido é de R\$ 51.555,00.

A quantidade de sucata foi de 15 toneladas, subtraindo desta quantidade o maior valor de escória encontrado, o qual foi de 15,44%, o que representa 2.316kg, assim a sucata útil seria de 12.684kg. Os 2.316kg de escória podem ser enviados para o beneficiamento o qual retornaria 50% deste peso (1.158kg) em matéria-prima virgem, mas seria pago R\$ 0,18 por kg do retorno do beneficiamento, somando R\$ 208,44.

O valor resultante da utilização da sucata é de 12.684kg de sucata útil, somando mais a matéria-prima de retorno do beneficiamento 1.158kg, obtendo um valor de 13.842kg o qual multiplicado pelo preço do kg do Zamac resulta em R\$ 138.420,00, mas é necessário subtrair o custo do beneficiamento, assim obtêm-se um valor resultante de R\$ 138.211,56.

O custo com energia elétrica para fundição da sucata pode ser desprezado, pois ela pode ser reaproveitada diretamente no cadinho da máquina, assim como na fundição dos lingotes de matéria-prima virgem.

A economia resultante com uso da sucata como matéria-prima para fundição de fivelas e enfeites para calçados e acessórios, pode ser medida utilizando o valor de matéria-prima útil para empresa com uso da sucata, subtraindo deste o valor da matéria-prima resultante do beneficiamento, assim R\$ 138.211,56 menos R\$ 51.555,00 resulta o valor de R\$ 86.656,56.

A matéria-prima representa aproximadamente 30% do custo das fivelas e dos enfeites e esta economia de R\$ 86.656,56 poderia resultar na compra de 8.656,56kg de Zamac para uso na fundição.

5. CONCLUSÃO

Analisando os resultados dos ensaios e testes para validação do uso de sucata como matéria-prima para fundição de fivelas e enfeites para calçados e acessórios, permite que as seguintes conclusões sejam apresentadas:

- Na análise térmica pode ser evidenciado que, a amostra de material virgem apresenta uma taxa de resfriamento menor que as demais amostras. As amostras B1 e C27 sem galvanização apresentam taxa de resfriamento maior que a amostra de material virgem.
- As análises das composições químicas das amostras B1 e C27, demonstram que as peças mesmo sem aplicação de galvanoplastia apresentam perda nos elementos de liga, devido à oxidação durante os processos de fundição. A amostra B1 que possui maior relação área/volume comparando com a amostra C27, apresentou maior percentual de contaminantes e Cobre após o processo de eletrodeposição.
- Nas imagens do MEV pode ser observado, que nas amostras fundidas com uso de sucata ocorreu um aumento na quantidade da fase primária na sua microestrutura, com isso ocorreu uma diminuição na estrutura eutética.
- Os testes de desempenho demonstraram excelentes resultados para as fivelas e enfeites fundidos com uso de sucata. No ensaio de tração as amostras de sucata tiveram maior alongamento e resistiram mais ao esforço, no ensaio de compressão pode ser evidenciada uma diferença

pequena no alongamento entre as amostras, na resistência ao esforço as peças de sucata superaram as de material virgem. No ensaio de corrosão, fosqueamento, porosidade, aderência de tinta e inspeção visual, as peças de ambos os formatos e materiais apresentaram desempenho satisfatório e similar.

- A análise econômica demonstrou grande possibilidade de economia para empresa com uso da sucata como matéria-prima direta na fundição de fivelas e enfeites, representando um valor de R\$ 86.656,56 para o ano de 2014.

Portanto as peças fundidas sob pressão com uso de sucata foram aprovadas em todos os ensaios e testes, apresentando assim um desempenho satisfatório para o uso da sucata como matéria-prima direta na fundição de fivelas e enfeites para calçados e acessórios, por consequência gerando uma economia de aproximadamente 30% nos custos de fabricação dos mesmos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14223**: Componentes metálicos para calçados e artefatos – Revestimentos protetores aplicados sobre peças injetadas em zamac e peças de aço – Determinação do grau de porosidade, ela estabelece critérios para análise e determinação da porosidade dos revestimentos protetores de peças em zamac. 2004.

_____. **NBR 14369**: Componentes metálicos para calçados e artefatos – Determinação da resistência ao fosqueamento de peças niqueladas com verniz. 2006.

_____. **NBR 15174**: Componentes metálicos e plásticos para calçados e artefatos - fivelas, enfeites e reboques/paralamas - Determinação da resistência à compressão e a tração. 2014.

_____. **NBR 15264**: Determinação da aderência de tinta à ação de escova de cabelo, para peças de calçados e acessórios. 2005.

ASTM – American Society for Testing Materials. **ASTM B 240 – 07 - Standard Specification for Zinc and Zinc-Aluminum (ZA) Alloys in Ingot Form for Foundry and Die Castings**. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2007.

BRAILE, P.M.; CAVALCANTI, J.E.W.A. **Manual de tratamento de águas residuárias**. São Paulo: CETESB, 1993. 764f.

BRITO, C.; SIQUEIRA, C.A.; SPINELLI, J.E.; GARCIA, A. Cellular growth during the transient directional solidification of Zn-rich Zn–Cu monophasic and peritectic alloys. **Journal of Physics and Chemistry of Solids**, Brasil, n. 73, p. 1173-118,1 set. 2012.

CARDINALI, ADILSON; TOLEDO, ERIK FÁBIO. **A influência do teor de alumínio em injetados sob pressão nas ligas de zinco**. 2011. 52f. (Graduação) - Faculdade de Tecnologia SENAI "Nadir Dias de Figueiredo", Osasco, 2011.

CHEN, T.J.; HAO, Y.; SUN, J.; LI, Y.D. Effects of Mg and RE additions on the semisolid microstructure of a zinc alloy ZA27. **Science and Technology of Advanced Materials**, China, v. 4, p. 405-502, Nov. 2003.

COMPANHIA PERNAMBUCANA DO MEIO AMBIENTE. **Roteiro complementar de licenciamento e fiscalização: tipologia galvanoplastia**. Recife: CPRH, 2001. 107f.

COSTA, ELEANI M. DA; COSTA, CESAR EDIL DA; VECCHIA, FELIPE DALLA; RICK, CRISTIANE; SCHERER, MAURÍCIO; SANTOS, CARLOS A. DOS; DEDAVID, BERENICE A. **Study of the influence of copper and magnesium additions on the microstructure formation of Zn–Al hypoeutectic alloys**. **Journal of Alloys and Compounds**, Pontificia Universidade Catolica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. 11p.

FÖLDES, P.A. **Galvanotécnica prática**. São Paulo: Polígono, Universidade de São Paulo, 1973. 355f.

FÜHR, LUCIANE TAIS. **Influência dos defeitos de solidificação na resistência à corrosão do Zamac 5**. 2012. 70p. Dissertação (Mestre) - Universidade Feevale, Novo Hamburgo: 2012.

GANIVET, M. **Metalurgia das ligas de zinco – Fundição**. v.11. Minas Gerais: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, 1987.

INMETRO (Brasil). **Programa de análise de Produtos: Relatório de análise em torneiras e registros**. Rio de Janeiro, 2009.

LUDWIG, GUSTAVO ALBERTO. **Efeito de Parâmetros de Injeção no Desempenho de Zamac Utilizado em Metal Sanitário**. Novo Hamburgo: Universidade Feevale. 2011.

METALS HANDBOOK. **Alloy Phase Diagrams**. v.3. Editora ASM. 1992.

METALS HANDBOOK. **Metallography and Microstructures**. v.9. ASM, 1992.

MOJAVER, R.; SHAHVERDI, H.R.. **Relationship between cooling rate, microstructure features and wear behavior in end-chill cast Zn-27%Al alloys containing more than 2% Cu**. Wear, Ira: 2011. 10f.

NETO, A.P.; BRETZ, J.S.; MAGALHÃES, F.S.; MANSUR, M.B.; ROCHA, S.D.F. **Alternativas para o tratamento de efluentes da indústria galvânica**. Eng. San. e Amb., São Paulo, v. 13, n. 3, f.263-270. 21 mar 2008.

PACHECO, C.E.M. **Compilação de técnicas de prevenção à poluição para a indústria de galvanoplastia: projeto piloto de prevenção à poluição em indústrias de bijuterias no município de Limeira**. 4a ed., São Paulo: CETESB, 2002.

PARANAIBA METAIS. **Zamac**. Santana de Parnaíba: Paranaíba Metais, 2012. 12f.

PENHA JR., FLAVIO. **Apresentação sobre ligas de zinco para fundição**. São Paulo: Grupo Votorantim, 2008.

RICK, CRISTIANE FONSECA. **Estudo das ligas à base de Zn-Al-Cu-Mg aplicada na fabricação de jóias folhadas**. 2006. 118 f. Dissertação (Mestre) – Departamento de Pgetema, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

SENAI. Serviço Nacional de Indústria. **Manual de orientações técnicas básicas para a minimização de efluentes e resíduos na indústria galvânica**. Porto Alegre: Senai-RS, 2002.

SESI. Serviço Social da Indústria. **Manual de segurança e saúde no trabalho – indústria galvânica**. São Paulo: Coleção Manuais, 2007.

SILVA, JAQUES JONAS SANTOS. **Processos de Fabricação: Processos de fundição**. Resende: Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 2009. 49f.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, 2007 – **Fundição sob pressão**. Curitiba: Departamento de Engenharia Mecânica, 2007. 15f.

VOTORANTIM METAIS. **Manual de Ligas de Zinco para Fundição**. São Paulo: Votorantim Metais, 2015. 21f.

YAN,F.; WANG, G.; WANG, C.; HU, X.; WANG, Y.; TAN, Y.; CHEN, Z.; LI, S. Microstructures and properties of laser welding joint of super-eutectic ZA alloy. **Materials and Design**, on line em 02 jul.2012.