

Caracterização do resíduo sólido proveniente do processo galvanico para valoração econômica ambiental

Solid waste characterization from galvanic process for an environmental economic evaluation

Lucas Campaner Alves¹, Emília Satoshi Miyamaru Seo²

RESUMO

O processo galvanico consiste na deposição de uma camada fina de metal sobre uma superfície metálica ou plástica. Este processo gera grande volume de efluentes que devem ser tratados para atender as legislações ambientais. O sistema de tratamento de efluentes é responsável pela geração do resíduo sólido galvanico, também chamado de lodo galvanico. As análises químicas e físico-químicas realizadas demonstram que o sistema de tratamento da empresa em estudo opera incorretamente, produzindo lodo galvanico em excesso. O teor de umidade deste resíduo galvanico foi de 63,5%, significando que o principal constituinte do lodo é água. Pelo potencial risco ambiental deste lodo gerado, avaliou-se o seu valor econômico ambiental pela somatória dos custos decorrentes do processo de tratamento de efluentes, da destinação final do resíduo galvanico e das perdas das substâncias químicas a base de cobre, cromo e níquel. A quantidade destes elementos químicos no resíduo galvanico foram 3,71, 3,34 e 0,58%, respectivamente. O valor econômico ambiental obtido foi de R\$ 30.362,90 por ano, comprovando o potencial econômico ambiental do resíduo galvanico.

Palavras-chave: resíduo galvanico; caracterização do lodo; valoração econômica ambiental.

ABSTRACT

The galvanic process consists on the deposition of a thin metal layer on a metallic or plastic surface. This process generates large volumes of effluents that must be destined for the treatment systems in order to attend the Brazilian environmental standards regulations. The treatment system effluent is responsible for the generation of galvanic solid waste, also called galvanic sludge. The chemical and physicochemical analysis performed demonstrate that the company's treatment system under study operates incorrectly, producing an excess of galvanic sludge. The moisture content in the sludge was 63.5%, representing water as the main constituent. Due to the potential environmental risk of this generated sludge, was evaluated its economic value by the sum of the environmental costs related to the wastewater treatment process, the final destination of the waste galvanic and losses of chemicals based on copper, chromium and nickel. The amount of these chemicals in galvanic residue was 3.71, 3.34 and 0.58% respectively. The value obtained of R\$ 30,362.90 per year confirms the environmental economic potential of the galvanic residue.

Keywords: galvanic waste; sludge characterization; environmental economic evaluation.

INTRODUÇÃO

O processo galvanico consiste na deposição de uma camada fina de metal sobre uma superfície metálica ou plástica, por meios químicos ou eletroquímicos. Tem como objetivo evitar a corrosão, aumentar a espessura, dureza e resistência ao desgaste, além de proporcionar uma aparência mais atrativa (PEREIRA NETO *et al.*, 2008; BRAILE & CAVALCANTI, 1993).

O serviço galvanotécnico, em praticamente sua totalidade, se processa em tanques contendo soluções ácidas ou alcalinas. Existem dois tipos de

banhos: os eletrolíticos, onde a deposição metálica ou limpeza das peças são realizadas por intermédio de corrente elétrica, e os de imersão simples, que não utilizam eletricidade (BRAILE & CAVALCANTI, 1993).

O processo de galvanoplastia é constituído basicamente por três etapas, sendo elas (PACHECO, 2002; SENAI-RS, 2002):

- Pré-tratamento – consiste na preparação das peças a serem tratadas por meios mecânicos, para propiciar uma superfície mais lisa e homogênea, e/ou químicos, com objetivo de remover as gorduras, graxas, poeira metálica, óxidos e ferrugem;

¹Engenheiro Ambiental, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Comissão Nacional de Energia Nuclear (IPEN/CNEM) – São Paulo (SP), Brasil.

²Doutora em Tecnologia Nuclear, Gerente do Centro de Ciências e Tecnologias de Materiais, IPEN/CNEM – São Paulo (SP), Brasil.

Endereço para correspondência: Lucas Campaner Alves – Rua Rio São Francisco, 143 – IAPI – 06236-070 – Osasco (SP), Brasil – E-mail: lucas.campalves@gmail.com

Recebido: 29/09/12 – **Aceito:** 11/07/14 – **Reg. ABES:** 637

- Tratamento – processo de deposição metálica na superfície das peças por meio químico ou eletroquímico;
- Pós-tratamento – operação de acabamento das peças, que podem ser por lavagem com água fria ou quente, secagem em centrífuga, estufa ou jatos de ar, banho de óleo para embalagem e pintura ou envernizamento.

Os efluentes são constituídos por derrames, arrastes e respingos dos tanques de lavagem das peças e banhos de deposição metálica, purgas do lavador de gases e lavagem de piso e equipamentos e podem conter cianuretos, metais pesados, solventes, surfactantes, óleos e graxas. Segundo Ponte (2002), os efluentes são encaminhados para a estação de tratamento por meio de uma rede de coleta formada por canaletas impermeabilizadas.

No sistema de tratamento de efluentes, os metais pesados que estejam inicialmente dissolvidos são precipitados e, posteriormente, removidos por decantação, sedimentação ou, algumas vezes, por filtração. Esse material sólido removido é denominado lodo galvânico e, após sua secagem, deve ser armazenado conforme as diretrizes da ABNT NBR 12.235/92 (1992).

O lodo galvânico é considerado resíduo perigoso pois sua disposição no solo pode resultar na liberação de compostos, tais como metais, em níveis acima dos regulamentos e os limites ambientais (AYDIN & AYDIN, 2014).

De acordo com Mansur *et al.* (2008), o lodo proveniente do tratamento de efluentes do processo de galvanoplastia tem recebido particular atenção devido à natureza de sua constituição, que é baseada principalmente em ácidos e metais, tais como cromo, níquel, cobre e zinco.

Pelo potencial risco ambiental deste lodo gerado, o presente artigo avaliou o valor econômico ambiental do lodo galvânico através da somatória dos custos decorrentes do processo de tratamento de efluentes, da destinação final do resíduo galvânico e das perdas das substâncias químicas a base de cobre, cromo e níquel.

METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido em duas etapas, que apesar de complementares, foram referidas individualmente devido às suas características.

A primeira etapa envolveu uma visita técnica em uma empresa de cromação, onde foi coletado lodo galvânico e aplicado um questionário para identificar o processo de deposição metálica, o tratamento de efluentes, a forma da destinação do lodo galvânico e os custos desta destinação final.

O questionário aplicado (Anexo A) é uma adaptação do utilizado pelo projeto de unidades móveis do setor de tratamento de superfícies (PRUMO/TS). Esse projeto, segundo Mattos *et al.* (2007), é um programa que visa aprimorar os processos e produtos das micro, pequenas

e médias empresas por meio de veículos utilitários provido de equipamentos laboratoriais.

Após a aplicação do questionário, realizou-se a coleta dos resíduos sólidos, segundo as diretrizes da ABNT NBR 10.007/04 de amostragem de resíduos sólidos. Essa coleta foi realizada diretamente no tambor de armazenamento, retirando o material até obter aproximadamente 1 kg. O material foi armazenado em um frasco plástico com identificação por rotulagem para posteriormente ser analisado.

A segunda etapa consistiu na caracterização do resíduo sólido galvânico por técnicas analítico-instrumentais e utilização dos dados obtidos por meio do questionário e da caracterização do lodo galvânico para a realização da valoração econômica ambiental deste resíduo.

O material coletado na empresa, antes de ser encaminhado para as análises químicas e físico-químicas, foi enviado para a estufa com temperatura de 105°C durante 24 horas para a remoção da fração líquida (água) do lodo, conforme preconizado pelo o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. O lodo galvânico, depois de seco, recebeu um tratamento térmico de 600°C e 1.000°C. A calcinação do material a estas temperaturas foi realizada para a análise de Difração de Raios X (DRX), objetivando identificar a ocorrência de variação na morfologia do lodo galvânico a elevadas temperaturas.

A caracterização do resíduo sólido galvânico foi realizada por análises químicas e físico-químicas. A caracterização química foi via técnica qualitativa e quantitativa, sendo elas Fluorescência de Raios X (FRX) e Espectrometria de Emissão Atômica de Plasma (ICP-AES), respectivamente. Após as análises químicas, foi realizada uma análise para estudar as características físico-químicas do lodo galvânico, sendo a técnica escolhida a DRX.

A valoração econômica ambiental realizada neste trabalho foi obtida pela somatória de todos os custos incorridos para evitar que a empresa não descumprisse as leis e poluísse o meio ambiente.

O custo total (C_T) do valor econômico do recurso ambiental foi calculado em base anual pela somatória dos gastos decorrentes do processo de tratamento de efluentes (C_{Trat}), da destinação final do resíduo galvânico (C_{Dest}) e das perdas do processo de recobrimento metálico (C_{Perdas}), conforme apresentado na equação 1.

$$C_T = C_{Trat} + C_{Dest} + C_{Perdas} \quad (1)$$

Os custos da estação de tratamento de efluentes e armazenamento do lodo galvânico são decorrentes do consumo de substâncias químicas utilizadas para tratar os efluentes, da mão de obra especializada para operação da estação de tratamento e da compra de tambores, de acordo com as especificações da ABNT NBR 12.235/92, para armazenamento do lodo galvânico até sua destinação final. A variável C_{Trat} é a somatória destes custos incorridos a empresa.

A destinação correta do resíduo galvânico apresenta elevados custos para as empresas geradoras. O valor da parcela C_{Dest} foi obtido por meio do questionário aplicado na indústria de cromação.

A determinação do custo dos elementos metálicos (C_{Perdas}) presentes no resíduo sólido galvânico foi realizada em três passos. O primeiro passo foi multiplicar a porcentagem dos elementos de interesse (cromo, cobre e níquel), obtida por meio da caracterização, pelo total de resíduo galvânico gerado para determinar as suas massas no resíduo. O segundo passo consistiu em realizar o cálculo estequiométrico para determinar a massa dos componentes referente à massa de cada elemento metálico no resíduo e o terceiro passo foi calcular os valores dos componentes dos banhos perdidos pelo seu preço de mercado.

EMPRESA DE CROMAÇÃO

A empresa possui um processo de desengraxante eletrolítico que utiliza uma solução de hidróxido de sódio para a remoção dos óleos e graxas. A remoção dos óxidos e/ou a ferrugem existentes na superfície da peça é realizada por meio de uma solução decapante.

Para garantir a aderência da camada metálica a ser depositada é utilizada uma solução ácida de baixa concentração denominada ativação ácida. Este banho é responsável pelo consumo 74,5% do total de ácido sulfúrico consumido no processo.

A primeira etapa de deposição metálica é realizada no processo chamado de cobre alcalino, onde ocorre o revestimento das peças por uma fina camada de cobre. Este processo é realizado com sais de cianeto de cobre e cianeto de sódio, formando compostos solúveis de cobre em solução aquosa. O próximo banho é o de cobre ácido, utilizado para nivelar a superfície das peças, proporcionar brilho e auxiliar na proteção contra a corrosão.

A solução de sulfato de níquel, cloreto de níquel e ácido bórico, embora possa ser utilizada para nivelamento das peças, neste processo tem como principal função a de proteção da peça contra corrosão. O ácido bórico é utilizado nesse banho como um tampão, com a finalidade de diminuir a variação do pH.

O banho de cromação tem como principal função garantir o brilho das peças proporcionado pelo banho de níquel. A deposição de cromo utiliza uma solução de ácido crômico dissolvido em água e ácido sulfúrico, na proporção apresentada na Tabela 1.

Os reagentes químicos utilizados nos banhos de cromação da empresa em estudo, bem como o consumo anual em quilogramas de cada um destes componentes, juntamente com os seus respectivos custos são apresentados na Tabela 1.

Todos os banhos do processo geram efluentes, que são encaminhados para a estação de tratamento junto com a purga do lavador de gases. Os efluentes ácidos e alcalinos são coletados separadamente por motivos de segurança. A mistura desses efluentes, segundo Ponte

(2002), pode gerar cianeto de hidrogênio (HCN), que nas condições ambientes é um gás muito tóxico.

Os efluentes ácidos são encaminhados para um tanque de tratamento onde cromo hexavalente é reduzido a trivalente pela adição de metabissulfito de sódio e ácido sulfúrico. Os efluentes alcalinos são conduzidos para um tanque onde o cianeto é oxidado pela adição de hipoclorito de sódio, eliminando o risco de geração de gases tóxicos.

Esses dois efluentes pré-tratados são encaminhados para um tanque de neutralização, onde são formados hidróxidos metálicos pela adição de hidróxido de cálcio. A reação de precipitação ocorre em pH alcalino, sendo necessário a correção do pH em torno de 9. Esse ajuste é realizado pela adição de hidróxido de sódio.

Ao sair do tanque de neutralização o efluente é encaminhado para o tanque de floculação, onde pela adição do polieletrólito ocorre a formação de flocos que são removidos na etapa de decantação. O efluente tratado é encaminhado para a rede coletora de esgoto e, devido à grande umidade presente no lodo galvânico gerado no tratamento, passa pelo filtro-prensa para ser desidratado antes de ser armazenado temporariamente até seu destino final. Esse armazenamento é realizado em tambores de ferro encapados com saco plástico para atender as exigências da ABNT NBR 12.235/92 (1992).

A geração anual desse lodo desidratado é de 11,6 toneladas. Atualmente, a destinação desse resíduo sólido galvânico é realizada por uma empresa terceirizada, que coleta o resíduo galvânico na indústria e o encaminha para uma destinação final por um custo de R\$ 550,00 por tonelada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O lodo galvânico, antes de ser encaminhado para as análises químicas e físico-químicas, passou pelo processo de secagem a temperatura de 105°C por 24 horas. Com a massa de lodo seca e úmida, calculou-se o teor de umidade desse resíduo, que foi de 63,5%.

De acordo com os resultados obtidos, o teor de umidade do lodo galvânico em estudo é elevado, comprovando os valores citados em literaturas que são em média de 60% (MAGALHÃES *et al.*, 2005). Essa massa de água representa para a empresa excesso de custos de armazenamento e disposição final.

De acordo com a Quadro 1, a análise qualitativa (preponderante), significa elementos químicos presentes com porcentagem mássica superior a 20%. Considerou-se médias proporções os elementos químicos presentes no intervalo entre 0,5 a 20% e, por fim, traços são os elementos inferiores a 0,5%.

Os resultados da análise de FRX são apresentados em ordem de preponderância, no Quadro 1, pois esta técnica se trata de uma análise química qualitativa. Foram considerados elementos químicos preponderantes os que apresentaram porcentagem mássica superior a 20% (cálcio

Tabela 1 - Banhos utilizados no processo galvânico.

Banhos	Composição dos banhos	Consumo anual (kg)	Custo (R\$)
Desengraxante	Soda Cáustica	1.200	2.520,00
Decapante	-	3.000	3.300,00
Ativação Ácida	Ácido sulfúrico	3.576	6.079,20
Cobre Alcalino	Cianeto de sódio	840	7.140,00
	Cianeto de cobre	300	6.900,00
Cobre Ácido	Sulfato de cobre	2.400	9.600,00
	Ácido sulfúrico	1.200	2.040,00
Níquel Watts	Sulfato de níquel	300	7.485,00
	Cloreto de níquel	120	4.248,00
	Ácido bórico	60	254,40
Cromo Decorativo	Ácido crômico	1.200	20.220,00
	Ácido sulfúrico	24	40,80
Total		14.220	69.827,40

Quadro 1 - Caracterização qualitativa do lodo galvânico.

Ordem de Preponderância	Elementos
Preponderantes	Cálcio e Enxofre
Médias proporções	Cobre, Cromo, Ferro e Níquel
Traços	Silica, Magnésio, Fósforo, Zinco.

e enxofre). Considerou-se médias proporções os elementos químicos presentes no intervalo entre 0,5 a 20% (cobre, cromo, ferro e níquel) e, por fim, traços são os elementos inferiores a 0,5%.

A partir da FRX, foi realizada a análise quantitativa ICP-AES para obter os teores exatos dos elementos presentes no lodo galvânico, sendo os resultados apresentados na Tabela 2. Como o resíduo sólido galvânico é muito heterogêneo, foram apresentados apenas os elementos mais relevantes ao estudo e/ou que apresentam risco ao meio ambiente.

A ICP-AES não é capaz de detectar o enxofre (proveniente principalmente do ácido sulfúrico), considerado preponderante na análise de fluorescência de raios X, impossibilitando a determinação de sua fração no resíduo. Sem a quantificação da massa de enxofre, não foi possível acrescentar os custos da perda do ácido sulfúrico na valoração econômica ambiental.

Os elementos cobre, cromo e níquel representam 7,63% da composição total de lodo galvânico em estudo. No entanto, devido à heterogeneidade dos resíduos sólidos provenientes de processos galvânicos, as porcentagens destes elementos chegam, segundo Mattos (2011), a mais de 40%, resultando em um valor econômico ambiental ainda mais considerável nestas empresas. Embora 7,63% de perdas dos metais possa parecer aceitável se comparado aos 40% relatados na literatura, deve-se ressaltar que o elevado teor de cálcio na amostra resulta na redução da porcentagem mássica dos metais.

Tabela 2 - Resultado da análise de ICP-AES.

Elemento	Porcentagem mássica dos elementos (%)
Ca	22,60
Cu	3,71
Cr	3,34
Fe	1,57
Ni	0,58
Zn	0,14
Total	31,94

Os resultados da difração de raios X estão apresentados nas Figuras 1 a 3. Nos difratogramas obtidos, observou-se a formação de compostos com o aumento da temperatura. O resultado da amostra a 105°C demonstra que o elemento mais abundante no resíduo a esta temperatura é o sulfato de cálcio hidratado, seguido por carbonato de cálcio e sulfeto de cobre e ferro, conforme pode ser observado na Figura 1.

A 600°C, ocorreu a desidratação do sulfato de cálcio, a permanência do carbonato de cálcio e a formação do cromato de cálcio, conforme apresentado na Figura 2.

Na análise a 1.000°C, foi detectado o sulfato de cálcio como predominante e a formação do óxido de cromo e cobre, óxido de fosfato de ferro e cloreto de cobre. Porém, graças à elevada temperatura, o carbonato de cálcio se decompôs, como apresentado na Figura 3.

Toda a massa de cálcio presente no resíduo galvânico é proveniente do hidróxido de cálcio utilizado na etapa de neutralização do sistema de tratamento de efluente. A análise de DRX identificou que esse elemento a 105°C está na forma de carbonato de cálcio e sulfato de cálcio

hidratado, popularmente chamado de gesso. Porém, não existem tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a reciclagem ou recuperação desse sulfato de cálcio hidratado.

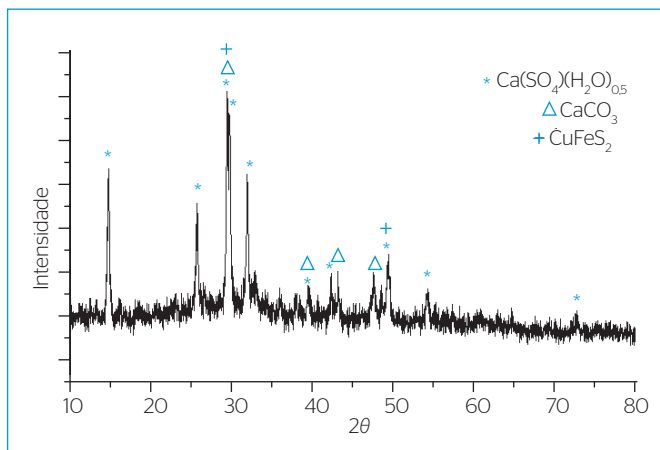


Figura 1 - Resultado da análise de Difração de Raios X para a amostra tratada a 105°C.

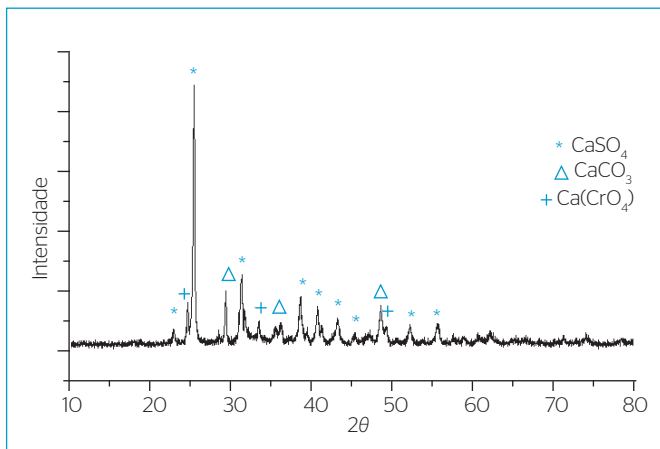


Figura 2 - Resultado da análise de Difração de Raios X para a amostra tratada a 600°C.

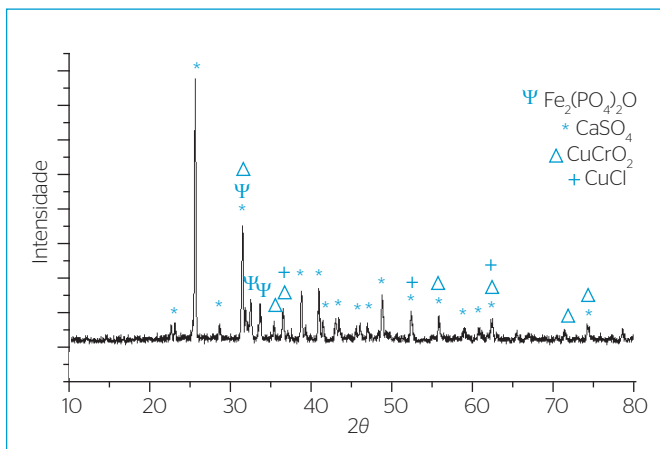


Figura 3 - Resultado da análise de Difração de Raios X para a amostra tratada a 1.000°C.

Após a caracterização do resíduo sólido galvanico por técnicas analítico-instrumentais, foi realizada a valoração econômica ambiental. Os custos da estação de tratamento de efluentes foram obtidos pelo questionário aplicado na empresa, que se quantificou os gastos com tambores e sacos plásticos e o salário do técnico químico responsável pela estação. O resultado da parcela C_{Trat} esta apresentada na Tabela 3.

A quantidade de substâncias químicas utilizadas no tratamento não foi fornecida pela empresa em estudo, sendo utilizado para a quantificação deste valor a análise de ICP-AES, o total de lodo seco gerado e os preços de mercados dos reagentes químicos utilizados. Foram determinadas as substâncias empregadas nas etapas de neutralização (hidróxido de cálcio) e redução do cromo (metabissulfito de sódio e ácido sulfúrico). O consumo de energia elétrica no tratamento de efluentes não pode ser quantificado, pois na indústria não há mensurações da energia elétrica consumida por setores.

O valor do custo de destinação foi obtido por meio do questionário aplicado na indústria de cromação. Os dados utilizados foram a geração anual de lodo galvanico (11,6 toneladas) e o custo que a empresa terceirizada cobra para destinar o resíduo (R\$ 550/tonelada), resultado em um custo (C_{Dest}) anual para a empresa de R\$ 6.380,00.

Para determinar os custos dos elementos metálicos presentes no resíduo sólido galvanico, primeiramente foi quantificado a massa dos elementos presentes no resíduo pela multiplicação da análise de

Tabela 3 - Custo da estação de tratamento de efluentes.

C_{Trat}	Consumo anual	Custo anual (R\$)
Substâncias químicas utilizadas	3147,04 (kg)	2.695,50
Técnico químico responsável	1 (un)	9.072,00
Tambores com sacos plásticos	58 (un)	3.596,00
Total		15.363,50

Tabela 4 - Massa dos elementos no lodo galvanico.

Elemento	Porcentagem mássica dos elementos (%)	Massa dos elementos no resíduo (kg)
Ca	22,600	956,88
Cu	3,710	157,08
Cr	3,340	141,42
Fe	1,570	66,47
Ni	0,579	24,51
Zn	0,143	6,05
Ba	0,010	0,42
Pb	0,013	0,57
Total	31,97	1.353,41

ICP-AES pelo total de lodo galvânico seco (4.234 kg), sendo o resultado apresentado na Tabela 4.

Ao utilizarmos os dados da análise de ICP-AES, se pode determinar a quantidade de cálcio presente no lodo galvânico como de 956,88 quilogramas. Esta elevada quantidade de cálcio demonstra que o sistema de tratamento de efluentes não opera corretamente, resultando em gastos desnecessários à empresa no tratamento dos efluentes, além de elevar os custos de armazenamento e destinação final do resíduo sólido galvânico.

O cobre e o níquel presentes no resíduo galvânico provêm de mais de uma fonte contendo estes elementos, como pode ser observado na Tabela 1. Portanto, foi necessário quantificar a contribuição destas substâncias químicas na porcentagem total do elemento no lodo galvânico. Esse valor foi calculado com base na massa apresentada na Tabela 1, sendo o resultado apresentado na Tabela 5.

Com base nas porcentagens apresentadas na Tabela 5, foram determinadas (por meio de cálculos estequiométricos) as massas

das substâncias químicas contendo cobre, cromo e níquel perdidas no processo de deposição metálica, sendo o resultado deste cálculo apresentado na Tabela 6.

Com a quantificação da massa dos componentes dos banhos presente no resíduo sólido galvânico, foi realizado o cálculo dos custos de perdas no processo produtivo. Esses custos são referentes aos insumos que foram adquiridos para o processo de cromação, mas que, em função das perdas existentes no processo, são encaminhados para a estação de tratamento e se transformam em lodo galvânico. O valor de C_{Perdas} é de R\$ 8.410,56, conforme apresentado na Tabela 7.

De acordo os resultados apresentados na Tabela 7, 16,58% das substâncias químicas a base de cromo, cobre e níquel utilizados nos banhos de cromação são enviados ao sistema de tratamento de efluentes devido as perdas no processo de recobrimento metálico, gerando um prejuízo anual para a empresa de 17,36% do valor pago para obtê-los.

Ao considerar todos os custos incorridos a empresa para que ela não polua o meio ambiente e os valores das perdas no processo produtivo, o valor econômico do recurso ambiental (C_T) é de R\$ 30.154,06 por ano, conforme pode ser observado na Tabela 8.

Segundo Mattos *et al.* (2007), o projeto PRUMO/TS atende cerca de 30 empresas de cromação na zona leste da cidade de São Paulo (SP), Brasil. Diante deste cenário o presente estudo representa apenas uma parcela do potencial valor econômico ambiental do setor de cromação nesta localidade.

No entanto, o valor econômico ambiental obtido nesse trabalho é uma subestimativa do valor real, devido aos motivos:

- o consumo de energia elétrica dos equipamentos utilizados no sistema de tratamento de efluentes não pode ser mensurado, portanto, seu custo não pode ser contabilizado;
- pela falta de dados referentes ao custo das substâncias químicas empregado para tratar os efluentes, o valor utilizado neste trabalho representa apenas uma parcela do real pago pela empresa;
- devido ao IPTU pago pela empresa para englobar o espaço físico utilizado pelo sistema de tratamento de efluente e pelos

Tabela 5 - Massa dos elementos de interesse no lodo galvânico.

Elemento	Porcentagem dos elementos no resíduo (%)	Composição dos banhos	Porcentagem dos elementos dividida por banhos (%)
Cu	3,71	Cu(CN) ₂	0,41
		CuSO ₄	3,30
Ni	0,58	NiSO ₄	0,41
		NiCl ₂	0,17
Cr	3,34	CrO ₃	3,34

Tabela 6 - Massa de componentes dos banhos no lodo galvânico.

Composição dos banhos	Massa dos elementos no resíduo (kg)	Massa dos componentes dos banhos no resíduo (kg)
Cu(CN) ₂	17,28	31,43
CuSO ₄	139,80	351,13
NiSO ₄	17,41	45,89
NiCl ₂	7,11	15,70
CrO ₃	141,42	271,96
Total	323,01	716,10

Tabela 7 - Perdas anuais no processo produtivo.

Composição	Consumo anual (kg)	Custo anual (R\$)	Massa presente no resíduo (kg)	Preço por quilogramas (R\$)	Valor perdido no resíduo (R\$)
Cu(CN) ₂	300	6.900,00	31,43	23,00	722,84
CuSO ₄	2400	9.600,00	351,13	4,00	1.404,50
NiSO ₄	300	7.485,00	45,89	24,95	1.145,03
NiCl ₂	120	4.248,00	15,70	35,40	555,71
CrO ₃	1200	20.220,00	271,96	16,85	4.582,49
Total	4.320	48.453,00	716,10		8.410,56

Tabela 8 - Resultado da valoração econômica ambiental.

Parcelas dos custos	Valor total anual (R\$)
C_{Trat}	15.363,50
C_{Dest}	6.380,00
C_{Perdas}	8.410,56
C_{T}	30.154,06

tambores de armazenamento de resíduo galvânico, esse custo deveria ser contabilizado; porém, por falta de dados, não pode ser quantificado.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos permitem concluir que:

- o teor de umidade do resíduo é de 63,5% e isso significa que o principal constituinte do lodo é água;
- a principal ação para redução da quantidade de lodo gerado é a diminuição da fração de umidade;

- os resultados obtidos por meio das análises de FRX, ICP-AES e DRX demonstram um elevado teor de cálcio, representando que o sistema de tratamento de efluentes opera incorretamente, causando produção excessiva de lodo e conseqüentemente a elevação dos custos de armazenamento e destinação final;
- as perdas existentes no processo de deposição metálica da empresa em estudo consomem 16,5 % do total de substâncias utilizadas;
- a redução das perdas no processo produtivo resultaria em ganhos econômicos, uma vez que reduziria o consumo de substâncias químicas e a geração de resíduos galvânicos, e ambientais com a diminuição da quantidade de elementos perigosos no lodo galvânico;
- o valor econômico ambiental obtido foi de R\$ 30.362,90 por ano, comprovando o potencial econômico ambiental do resíduo galvânico;
- ao demonstrar esse alto valor, espera-se a mudança da visão de que o resíduo não possui valor agregado.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). (1998) *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington: APHA, 937 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (1992) *Armazenamento de resíduos sólidos perigosos. NBR 12.235*. Rio de Janeiro: ABNT.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (2004) *Amostragem de resíduos sólidos. NBR 10.007*. Rio de Janeiro: ABNT.
- AYDIN, A.A. & AYDIN, A. (2014) Development of an immobilization process for heavy metal containing galvanic solid wastes by use of sodium silicate and sodium tetraborate. *Journal of Hazardous Materials*, v. 270, n. 1, p. 35-44.
- BRAILE, P.M. & CAVALCANTI, J.E.W.A. (1993) *Manual de tratamento de águas residuárias*. São Paulo: CETESB.
- MAGALHÃES, J.M.; SILVA, J.E.; CASTRO, F.P.; LABRINCHA, J.A. (2005) Physical and chemical characterization of metal finishing industrial wastes. *Journal of Environmental Management*, v. 75, p. 157-166.
- MANSUR, M.B.; ROCHA, S.D.F.; MAGALHÃES, F.S.; BENEDETTO, J.S. (2008) Selective extraction of zinc (II) over iron (II) from spent hydrochloric acid pickling effluents by liquid-liquid extraction. *Journal of Hazardous Materials*, v. 150, n. 3, p. 669-678.
- MATTOS, C.S. (2011) *Geração de resíduos sólidos de galvanoplastia em regiões densamente povoadas - avaliação, inertização e destinação*. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear - Materiais) – Instituto De Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- MATTOS, C.S.; MAZZARELLA, V.N.G.; NAGAMINE, R.; PANOSSIAN, Z.; GUERREIRO, R. (2007) Projeto Unidades Móveis de Atendimento Tecnológico. *Corrosão e proteção*. Ano 4, n. 16, p. 20-21.
- PEREIRA NETO, A.; BRETZ, J.S.; MAGALHÃES, F.S.; MANSUR, M.B.; ROCHA, S.D.F. (2008) Alternativas para o tratamento de efluentes da indústria galvânica. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 13, n. 3, p. 263-270.
- PACHECO, C.E.M. (2002) *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*. São Paulo: CETESB.
- PONTE, H.A. (2002) Tratamento de efluentes líquidos de galvanoplastia. *Evento de Extensão*, Departamento de Tecnologia Química, Universidade Federal do Paraná. Curitiba.
- SERVIÇO NACIONAL DE INDÚSTRIA (SENAI). (2002) *Manual de orientações técnicas básicas para a minimização de efluentes e resíduos na indústria galvânica*. Porto Alegre: Senai-RS.
- SKOOG, D.A.; HOLLER, F.J.; NIEMAN, T.A. (1998) *Principles of Instrumental Analysis*. Philadelphia: Saunders College. 349 p.

Anexo A - Questionário utilizado na entrevista da empresa de cromação.

1. Dados cadastrais da empresa:

Razão Social:			
Nome Fantasia:			
Endereço:			Bairro:
Cidade:	UF:	CEP	
Ramo de Atividade: Cromação			
Porte da Empresa	<input type="checkbox"/> Micro	<input type="checkbox"/> Pequeno	<input type="checkbox"/> Médio <input type="checkbox"/> Grande
Fone:		Ano de Fundação:	
Faturamento Anual:		<input type="checkbox"/> Abaixo de R\$ 100.000,00	<input type="checkbox"/> R\$ 100.000,01 a 1.000.000,00
		<input type="checkbox"/> Acima de R\$ 1.000.000,00	Valor Exato:

2. Dados do processo produtivo

2.1 - Tipo do processo produtivo:

<input type="checkbox"/>	Cromação	<input type="checkbox"/>	Niquelação	<input type="checkbox"/>	Cobreação	<input type="checkbox"/>	Zincagem
<input type="checkbox"/>	Estanhagem	<input type="checkbox"/>	Latonagem	<input type="checkbox"/>	Douração	<input type="checkbox"/>	Prateação

2.1.1 - De acordo com a resposta acima identifique os processos:

<input type="checkbox"/>	Banhos de Liga. Quais.....						
<input type="checkbox"/>	Banhos químicos. Quais.....						
<input type="checkbox"/>	Pintura eletrostática	<input type="checkbox"/>	Pintura eletrolítica	<input type="checkbox"/>	Pintura líquida		
<input type="checkbox"/>	Oxidação negra	<input type="checkbox"/>	Envelhecimento	<input type="checkbox"/>	Metalização		
<input type="checkbox"/>	Eletropolimento	<input type="checkbox"/>	Outros. Quais.....				

2.2 - Banhos existentes na empresa:

Banhos	Consumo mensal	Custo total
<input type="checkbox"/>	Desengraxante	
<input type="checkbox"/>	Decapante	
<input type="checkbox"/>	Cobre alcalino	
<input type="checkbox"/>	Cobre ácido	
<input type="checkbox"/>	Níquel Watts	
<input type="checkbox"/>	Cromo decorativo	
<input type="checkbox"/>	Cromo duro	
<input type="checkbox"/>	Latão	
<input type="checkbox"/>	Grafite	
<input type="checkbox"/>	Zinco alcalino com cianeto	
<input type="checkbox"/>	Zinco alcalino sem cianeto	
<input type="checkbox"/>	Zinco ácido	
<input type="checkbox"/>	Estanho alcalino	
<input type="checkbox"/>	Estanho ácido	
<input type="checkbox"/>	Ouro folheação	
<input type="checkbox"/>	Ouro cor	
<input type="checkbox"/>	Prata	
<input type="checkbox"/>	Ródio	
<input type="checkbox"/>	Outros. Quais	

2.3 - Substratos (matéria-prima) utilizados pela empresa, indicando sua porcentagem, quantidade e seus respectivos custos:

Quantidade	()	Quilogramas (kg)	()	Peças (Nº)
Matéria Prima		Porcentagem	Quantidade	Custo (R\$)
()	Latão			
()	Aço-carbono			
()	Ferro fundido			
()	Bronze			
()	Zemak			
()	Cobre			
()	Alumínio			
()	Aço-inoxidável			
()	Liga baixa-fusão (liga88)			
()	Plásticos			
()	Outros. Quais:			

2.4 - Quantidades de peças produzidas por mês:

()	0 a 0,5 t	()	0,6 a 1,0 t	()	1,1 a 2 t	()	2,1 a 5,0 t
()	5,1 a 10 t	()	10,1 a 20 t	()	20,1 a 50 t	()	50,1 a 100 t
()	0 a 500 peças	()	501 a 100.000 peças	()	100.001 a 200.000 peças		
()	200.001 a 500.000 peças			()	500.001 a 1.000.000 peças		
Quantidade exata =							

2.5 - Principais mercados de destino:

()	Metais Sanitários	()	Aramados	()	Bijuterias
()	Utensílios domésticos	()	Automotivo	()	Chaves
()	Instrumentos musicais	()	Petroquímico	()	Máquinas
()	Ferramentas	()	Eletrônico	()	Iluminação
()	Outros. Quais				

2.6 - Equipamentos existentes no processo:

()	Tanques	()	Tambores rotativos	()	Retificadores	()	Estufas
()	Exaustores	()	Bombas-filtro	()	Centrífugas	()	Balança
()	pHmetro	()	Termômetro	()	Deionizador	()	Ultrassom
()	Micrômetro	()	Medidor de espessura	()	Paquímetro		
()	Lavador de gases			()	Filtro-prensa		
()	Outros. Quais.....						

2.7 - Descrição geral do processo (numerar pela ordem):

()	Aquisição de matéria-prima			()	Colocação das peças em gancheiras		
()	Colocação das peças em tambores rotativos			()	Desengraxe		
()	Lavagem 1	()	Lavagem 2	()	Ativação ácida	()	Lavagem 3
()	Lavagem 4	()	Decapagem	()	Lavagem 1	()	Lavagem 2
()	Ativação ácida	()	Lavagem 3	()	Lavagem 4	()	Banho de cobre alcalino
()	Água de arraste	()	Lavagem 1	()	Lavagem 2	()	Ativação ácida
()	Lavagem 3	()	Lavagem 4			()	Banho de cobre ácido
()	Água de arraste	()	Lavagem 1	()	Lavagem 2	()	Ativação ácida
()	Lavagem 3	()	Lavagem 4	()	Banho de níquel	()	Água de arraste
()	Lavagem 1	()	Lavagem 2	()	Ativação ácida	()	Lavagem 3
()	Lavagem 4	()	Banho de cromo decorativo			()	Água de arraste
()	Lavagem 1	()	Lavagem 2	()	Lavagem 3	()	Lavagem 4
()	Lavagem com água quente			()	Secagem	()	Embalagem
()	Expedição		()	Outros. Quais.....			

2.8 - Insumo de água e luz na produção:

Insumo	Tipo	Custo/processo (R\$)	Consumo mensal (unid.)
Energia	kWh		
Água	m ³		

2.9 - Porcentagem de rejeição de lotes ou peças por mês:

<input type="checkbox"/>	0 a 2,5%	<input type="checkbox"/>	2,6 a 5,0%	<input type="checkbox"/>	5,1 a 7,5%	<input type="checkbox"/>	7,6 a 10%
<input type="checkbox"/>	11 a 15%	<input type="checkbox"/>	16 a 20%	<input type="checkbox"/>	21 a 30%	<input type="checkbox"/>	31 a 40%
<input type="checkbox"/>	41 a 50%	<input type="checkbox"/>	51 a 60%	<input type="checkbox"/>	61 a 70%	<input type="checkbox"/>	71 a 80%
<input type="checkbox"/>	81 a 90%	<input type="checkbox"/>	91 a 100%	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
Quantidade exata:.....							

2.10 - Quantidade estimada de perdas no processo (peças que não podem ser retrabalhadas e de arraste dos banhos):

<input type="checkbox"/>	0 a 2,5%	<input type="checkbox"/>	2,6 a 5,0%	<input type="checkbox"/>	5,1 a 7,5%	<input type="checkbox"/>	7,6 a 10%
<input type="checkbox"/>	11 a 15%	<input type="checkbox"/>	16 a 20%	<input type="checkbox"/>	21 a 30%	<input type="checkbox"/>	31 a 40%
<input type="checkbox"/>	41 a 50%	<input type="checkbox"/>	51 a 60%	<input type="checkbox"/>	61 a 70%	<input type="checkbox"/>	71 a 80%
<input type="checkbox"/>	81 a 90%	<input type="checkbox"/>	91 a 100%	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
Quantidade exata:.....							

3. Questões ambientais:**3.1 - Possuem as certificações:**

Certificações		Implantado	Não implantado
<input type="checkbox"/>	ISO 9.001/2008	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	ISO 14.001/2004	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	ISO 18.001/2007	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Outras. Quais.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3.2 - A empresa enfrentou problemas na área ambiental?

<input type="checkbox"/>	Sim	<input type="checkbox"/>	Não
--------------------------	-----	--------------------------	-----

Quais seriam eles:

<input type="checkbox"/>	Disposição adequada de resíduos sólidos	<input type="checkbox"/>	Vazamento no banho
<input type="checkbox"/>	Despejo inadequado de efluentes líquidos	<input type="checkbox"/>	Vazamento de gases
<input type="checkbox"/>	Outros. Quais.....		

3.3 - Indique se ocorre o consumo de matéria-prima reutilizada, caso positivo indique sua quantidade ou porcentagem:

	%	kg ou m ³
<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>	Reutiliza peças para fundição	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Reutiliza águas de lavagem - sistemas de cascata	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Reutiliza águas de lavagem nos banhos	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Reutiliza água de tratamento de efluentes nos banhos	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Não utiliza matéria-prima reutilizada	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Outras reutilizações. Quais.....	<input type="checkbox"/>

3.4 - Indique se ocorre o consumo de matéria-prima reciclada, caso positivo indique sua quantidade ou porcentagem:

	%	kg ou m ³
<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>	Utiliza peças de sucata	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Utiliza papel/papelão reciclado	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Outras utilizações de reciclados. Quais.....	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Não utiliza	

3.5 - A empresa possui sistema de tratamento de efluentes (ETE)?

<input type="checkbox"/>	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	Em implantação
--------------------------	-----	--------------------------	-----	--------------------------	----------------

3.5.1 - Se possuir, qual seu processo (etapas):

Separação das águas para tratamento:

<input type="checkbox"/>	Tanque para ácidos
<input type="checkbox"/>	Tanque para alcalinos
<input type="checkbox"/>	Tanque para cromo

Processo:

<input type="checkbox"/>	Oxidação do cianeto (hipofosfito de sódio)
<input type="checkbox"/>	Redução do cromo hexavalente (metabissulfito de sódio)
<input type="checkbox"/>	Redução de sulfato (carbonato de bário)
<input type="checkbox"/>	Quebra de emulsão de óleo solúvel
<input type="checkbox"/>	Neutralização (leite de cal, soda cáustica, carbonato de sódio ou óxido de magnésio)
<input type="checkbox"/>	Ajuste de pH (ácido sulfúrico)
<input type="checkbox"/>	Coagulação (sulfato de alumínio ou cloreto férrico)
<input type="checkbox"/>	Floculação (polieletrólitos)
<input type="checkbox"/>	Sedimentação/Decantação
<input type="checkbox"/>	Filtração
<input type="checkbox"/>	Outros. Quais.....

3.5.2 - Qual a quantidade, em massa, dos produtos utilizados acima?

.....

3.5.3 - Quais líquidos são encaminhados para a ETE?

<input type="checkbox"/>	Desengraxante	<input type="checkbox"/>	Decapante	<input type="checkbox"/>	Lavagens	<input type="checkbox"/>	Cobre ácido
<input type="checkbox"/>	Cobre alcalino	<input type="checkbox"/>	Latão	<input type="checkbox"/>	Níquel Watts	<input type="checkbox"/>	Grafite
<input type="checkbox"/>	Cromo duro	<input type="checkbox"/>	Cromo decorativo			<input type="checkbox"/>	Estanho alcalino
<input type="checkbox"/>	Zinco alcalino com cianeto			<input type="checkbox"/>	Zinco alcalino sem cianeto	<input type="checkbox"/>	Zinco ácido
<input type="checkbox"/>	Estanho ácido	<input type="checkbox"/>	Ródio	<input type="checkbox"/>	Pré ouro	<input type="checkbox"/>	Ouro cor
<input type="checkbox"/>	Ouro folheação	<input type="checkbox"/>	Prata	<input type="checkbox"/>	Outros. Quais.....		

3.5.4 - Quantos funcionários operam a estação de tratamento de efluentes?

.....

4.5.4.1 - Qual o salário do(s) funcionário(s) que operam a estação?

R\$.

3.6 - Qual o processo de secagem do resíduo sólido (lama)?

<input type="checkbox"/>	Leito de secagem em um lugar coberto
<input type="checkbox"/>	Leito de secagem em um lugar descoberto
<input type="checkbox"/>	Filtro-prensa
<input type="checkbox"/>	Outro. Qual.....

3.7 - Qual o custo de armazenamento do lodo galvânico (tambores com sacos plásticos)?

R\$.

3.8 - O resíduo sólido é ou já foi analisado? Quem realiza ou realizou a análise?

<input type="checkbox"/>	Sim. Empresa que realiza(ou) a análise.....	<input type="checkbox"/>	Não
--------------------------	---------------------------------------------	--------------------------	-----

3.9 - O efluente é analisado quimicamente? Quem realiza a análise?

<input type="checkbox"/>	Empresa que realiza a análise.....	<input type="checkbox"/>	Não
--------------------------	------------------------------------	--------------------------	-----

Critério:

<input type="checkbox"/>	Segundo Artigo 18 do Decreto 8.468, de 08/09/1976, que aprova o regulamento da Lei 997, de 31/05/1976 - CETESB		
<input type="checkbox"/>	Segundo Artigo 19A do Decreto 8.468, de 08/09/1976, que aprova o regulamento da Lei 997, de 31/05/1976 - CETESB		
<input type="checkbox"/>	Segundo Artigo 34 da Resolução nº 357, de 17/03/2005 - CONAMA		
<input type="checkbox"/>	Mês	<input type="checkbox"/>	Ano

3.10 - Qual a quantidade de resíduos sólidos gerados

<input type="checkbox"/>	0 a 150 kg	<input type="checkbox"/>	151 a 300 kg	<input type="checkbox"/>	301 a 500 kg
<input type="checkbox"/>	501 a 1.000 kg	<input type="checkbox"/>	1.001 a 2.000 kg	<input type="checkbox"/>	2.001 a 3.000 kg
<input type="checkbox"/>	3.001 a 4.000 kg	<input type="checkbox"/>	4.001 a 5.000 kg	<input type="checkbox"/>	5.001 a 6.000 kg
<input type="checkbox"/>	6.001 a 7.000 kg	<input type="checkbox"/>	7.001 a 8.000 kg	<input type="checkbox"/>	8.001 a 10.000kg
<input type="checkbox"/>	10.001 a 15.000 kg	<input type="checkbox"/>	15.001 a 20.000 kg	<input type="checkbox"/>	20.000 a 50.000 kg
<input type="checkbox"/>	Quantidade exata.....				

3.11 - Qual a destinação dada ao resíduo sólido?

<input type="checkbox"/>	Estocagem na própria empresa
<input type="checkbox"/>	Contratação de empresa especializada para efetuar a destinação
<input type="checkbox"/>	Outra. Qual.....

3.11.1 - Caso a destinação seja realizada por uma empresa terceirizada, qual o nome da empresa?

.....

3.11.2 - Qual a destinação dada ao resíduo sólido pela empresa especializada:

<input type="checkbox"/>	Aterro	<input type="checkbox"/>	Reciclagem	<input type="checkbox"/>	Incineração
<input type="checkbox"/>	Coprocessamento	<input type="checkbox"/>	microencapsulação	<input type="checkbox"/>	Não sabe
<input type="checkbox"/>	Outra. Qual.....				

3.12 - Qual o valor pago para a destinação dada atualmente?

<input type="checkbox"/>	R\$ 100,00/t a 300,00/t	<input type="checkbox"/>	R\$ 301,00/t a 500,00/t
<input type="checkbox"/>	R\$ 501,00/t a 750,00/t	<input type="checkbox"/>	R\$ 751,00/t a 1.000,00/t
<input type="checkbox"/>	R\$ 1.001,00/t a 1.500,00/t	<input type="checkbox"/>	R\$ 1.500,00/t a 2.000,00/t

Quantidade exata.....

3.13 - Quais os problemas da armazenagem dos resíduos sólidos na empresa, ainda que só até sua destinação?

<input type="checkbox"/>	Ocupa espaço	<input type="checkbox"/>	Atrapalha a produção
<input type="checkbox"/>	Risco de vazamento	<input type="checkbox"/>	Gastos com tambores
<input type="checkbox"/>	Gastos com mão-de-obra extra	<input type="checkbox"/>	Pagamento de hora-extra
<input type="checkbox"/>	Risco de fiscalização	<input type="checkbox"/>	Outras. Quais.....

3.14 - Visando o setor de croação, qual o tipo de destinação seria mais adequado para os resíduos sólidos?

.....