

CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS DE SERVIÇO DE SAÚDE TRATADOS EM UMA PLANTA DE AUTOCLAVAGEM COM BASE NA PRESENÇA DE SUBSTÂNCIAS NÃO-VOLÁTEIS NO LIXIVIADO

CLASSIFICATION OF CLINICAL WASTE TREATED IN AN AUTOCLAVING PLANT BASED ON THE PRESENCE OF NON-VOLATILE SUBSTANCES IN LEACHATE

Renata Nautran Dalles

Bióloga pelo Centro Universitário da Fundação Educacional de Guaxupé e Mestre em Tecnologia Ambiental pela Universidade de Ribeirão Preto – UNAERP, Ribeirão Preto – SP – Brasil

Rodrigo Latanze

Engenheiro Químico e Mestre em Tecnologia Ambiental pela Universidade de Ribeirão Preto, e docente da Universidade de Ribeirão Preto – UNAERP, Ribeirão Preto – SP – Brasil - rlatanze@unaerp.br

Cristina Filomena Pereira

Rosa Paschoalato

Engenheira Química pela Universidade Mogi das Cruzes, Mestre e Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, e docente do Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade de Ribeirão Preto – UNAERP, Ribeirão Preto – SP – Brasil - cpaschoa@unaerp.br

Reinaldo Pisani Júnior

Engenheiro Químico, Mestre e Doutor em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos, e docente do Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade de Ribeirão Preto – UNAERP, Ribeirão Preto – SP – Brasil - pisanijr@terra.com.br ou rpjunior@unaerp.br

RESUMO

Resíduos de Serviços de Saúde (RSS) tratados em uma planta de desinfecção por autoclavagem em escala real foram classificados como resíduos perigosos (Classe I) ou não-perigosos (Classe II), com base nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 10.004/2004, NBR 10.005/2004 e NBR 10.007/2004. Estabelecido o intervalo de confiança de 98%, estimou-se que 20 amostras seriam suficientes para representar os RSS processados na unidade. As concentrações de 11 substâncias não voláteis foram comparadas com os limites do anexo F da NBR 10.004/2004. As principais concentrações encontradas nos lixiviados dos RSS foram: cádmio (entre 0,01-0,19 mg.L-1), fluoreto (0,19-1,22 mg.L-1) e mercúrio (0,05-0,16 mg.L-1). Uma vez que a concentração de mercúrio excedeu o limite de 0,10 mg.L-1 em 5 amostras, os RSS tratados na unidade foram classificados como perigosos. Sendo assim, sua disposição final deveria ser efetuada em aterro licenciado para resíduos perigosos e não em aterro sanitário, como tem sido atualmente praticada.

Palavras-chave: Autoclavagem; Classificação de resíduos; Extrato lixiviado; Resíduos de serviços de saúde.

ABSTRACT

Clinical wastes treated in a real scale autoclave disinfection plant were classified into hazardous (Class I) or non-hazardous (Class II), according to the regulations of Brazilian National Technical Association (ABNT) NBR 10.004/2004, NBR 10.005/2004 and NBR 10.007/2004. Once the confidence interval of 98% was established, it was estimated that 20 samplings would be enough to represent the clinical wastes processed in the unit taken as basis for the study. The concentration values of 11 non-volatile substances were compared to the limits established in Annex F of code NBR 10.004/2004. The main values found in the lixiviated of treated clinical wastes were: cadmium (between 0.01-0.19 mg.L-1), fluoride (0.19-1.22 mg.L-1), and mercury (0.05-0.16 mg.L-1). Since mercury concentrations exceeded the limit of 0.10 mg.L-1 in five samples, the treated clinical wastes in the unit were classified as hazardous. Therefore, their final discharge should be done in licensed landfill for hazardous wastes rather than in sanitary landfill, as it has been currently practiced.

Keywords: Autoclave; Healthcare wastes; Leachate; Waste classification.

RESUMEN

Resíduos de Servicios de Salud tratados en una planta de desinfección por autoclavado en escala real fueron clasificados como residuos peligrosos (Clase I) o no-peligrosos (Clase II), con base en las normas de la Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 10.004/2004, NBR 10.005/2004 e NBR 10.007/2004. Establecido el intervalo de confianza de 98%, se estimo que 20 muestras seriam suficientes para representar los RSS procesados en la unidad. Las concentraciones de 11 sustancias no volátiles fueron comparadas a los límites del anexo F de la NBR 10.004/2004. Las principales concentraciones encontradas en los lixiviados de los RSS fueron: cadmio (entre 0,01-0,19 mg.L-1), fluoruro (0,19-1,22 mg.L-1) y mercurio (0,05-0,16 mg.L-1). Como la concentración de mercurio excedió el límite de 0,10 mg.L-1 en 5 muestras, los RSS tratados em la unidad fueron clasificados como peligrosos. Siendo así, su disposición final debería ser efectuada en vertedero licenciado para residuos peligrosos y no em relleno sanitario, como ha sido actualmente practicada.

Palabras-Clave: Autoclavado; Clasificación de residuos; Extracto; lixiviado; Residuos de servicios de salud.

INTRODUÇÃO

Os Resíduos de Serviços de Saúde (RSS) são classificados em cinco grupos diferenciados pela periculosidade oferecida e na exigência de formas específicas de gerenciamento: Grupo A, formado por resíduos com possível presença de agentes biológicos e com risco de infecção; Grupo B, composto por resíduos químicos com características de corrosividade, reatividade, inflamabilidade, toxicidade, citogenicidade e explosividade; Grupo C, compreendido por rejeitos radioativos ou contaminados com radionuclídeos; Grupo D, constituído por resíduos comuns com características similares aos resíduos sólidos domiciliares; e Grupo E, que são os materiais perfurocortantes ou escarificantes (Resolução ANVISA RDC 306/2004 e Resolução CONAMA 358/2005).

O gerenciamento dos RSS é constituído por um conjunto de ações focadas nos aspectos intra e extra estabelecimento, desde a geração até a disposição final, o que inclui as etapas de segregação, acondicionamento, identificação, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e disposição final. A segregação consiste na separação dos resíduos no momento e local de sua geração, de acordo com as características físicas, químicas, biológicas, estado físico e riscos envolvidos. Esta é a etapa fundamental de manejo, pois interfere no desempenho dos sistemas de tratamento e na escolha pela forma de disposição final, ambientalmente adequada.

A Resolução ANVISA 306/2004 estipula formas específicas de tratamento em função dos grupos e subgrupos dos resíduos. Por exemplo, os resíduos dos grupos A1 (genericamente, materiais com risco de contaminação com microrganismos e de manipulação genética), A2 (carcaças, partes corpóreas de animais e materiais suspeitos de contaminação com microrganismos de relevância epidemiológica) e E (matérias perfurocortantes ou escarificantes com risco de patogenicidade) devem ser tratados por técnicas que resultem no Nível III de inativação microbiana, que corresponde à inativação de bactérias vegetativas, fungos, vírus lipofílicos e hidrofílicos e parasitas com redução igual ou maior que 6Log_{10} (99,9999%), e inativação de esporos do *Bacillus stearothermophilus* ou de esporos do *Bacillus subtilis* com redução igual ou maior que 4Log_{10} (99,99%). Os resíduos dos grupos A3 (peças anatômicas e produto de fecundação sem sinais vitais, com massa inferior a 500 g, estatura menor que 25 cm, ou idade gestacional inferior a 20 semanas) devem ser destinados à incineração, cremação ou sepultamento. Os resíduos A4 (materiais diversos com risco baixo de contaminação por agentes biológicos) podem ser dispostos em aterro licenciado sem tratamento prévio. Os resíduos A5 (materiais com suspeita ou certeza de contaminação com príons) têm de ser incinerados.

Enquanto que os resíduos do grupo B, resíduos químicos que apresentem risco à saúde ou ao meio ambiente, se não forem submetidos a processo de reutilização, recuperação ou reciclagem, devem ser submetidos a tratamento ou disposição final específicos. Os resíduos químicos perigosos no estado sólido, se não tratados, devem ser dispostos em aterro de resíduos perigosos (Classe I). Já os resíduos químicos perigosos no estado líquido devem ser submetidos a tratamento específico, sendo vedada a disposição final em aterros.

No ano base de 2012, dentre os 5.565 municípios brasileiros, 4.282 (76,9%) atestaram possuir coleta regular total ou parcial dos RSS que necessitam de tratamento previamente a disposição final dos rejeitos. Do ponto de vista da população coberta por coleta desses resíduos, do total de 193.946.886 de brasileiros em 2012, 163.713.417 foram geradores do

montante de 244.974 t de RSS, que correspondeu à taxa de coleta per capita de 1,496 kg.hab⁻¹.ano⁻¹. Uma vez que 30.233.469 habitantes não foram atendidos por coleta diferenciada de RSS, potencialmente, a massa total gerada em 2012 deve ter sido de 290.903 t de RSS. Porém, a capacidade instalada de tratamento no Brasil em 2012 foi de 234.654 t. Portanto, o déficit de capacidade instalada foi de 55.549 t ao ano. Sendo assim, é necessário expandir a destinação ambientalmente adequada de RSS desde a coleta até a disposição final dos rejeitos à parcela considerável do país (IBGE, 2013; ABRELPE, 2013).

As principais técnicas de tratamento de RSS são a desinfecção química, autoclavagem, incineração, pirólises convencionais ou à plasma, exposição à radiação ionizante e não-ionizante (micro-ondas e ultrassom) (CORONEL *et al.* 2002; DIAZ, SAVAGE e EGGRTH, 2005; PELLERIN, 1994). Contudo, a avaliação dos aspectos operacionais e do desempenho das técnicas mencionadas tem sido questionada.

Lee *et al.* (2004) avaliaram os custos do tratamento e disposição final dos RSS usando as técnicas de incineração e micro-ondas. Constatou-se que o custo do processo por incineração foi de US\$ 1,56/kg, quase dez vezes maior que o processo por micro-ondas: U\$ 0,16/kg. No entanto, Tonuci *et al.* (2008) e Pisani Jr *et al.* (2008) afirmam que a inativação de RSS com *E. coli* e *P. aeruginosa* nas formas vegetativas por micro-ondas pode não ser efetiva, dependendo das condições operacionais praticadas.

Oliveira *et al.* (2010) determinaram a fração de inativação dos esporos de *B. atrophaeus* artificialmente inoculados em RSS, em função do tempo de exposição a micro-ondas (20 a 40 min) e da potência por unidade de massa de resíduo (100 a 200 W/kg). Foi alcançado um máximo de 71% de inativação dos esporos no resíduo. Conclui-se que essa técnica de desinfecção era ineficaz, não atendendo ao Nível III de inativação microbiana (99,99% de remoção), quando operado nos moldes dos equipamentos em escala real.

O uso de irradiação de luz ultravioleta (UV) é reconhecido como um eficiente método na inativação de microrganismos e é utilizado principalmente na indústria alimentícia, na desinfecção de água e efluentes, embalagens e superfícies. Contudo, apesar de ser um método rápido e relativamente barato, na prática possui limitação de uso, devido à possibilidade de não exposição uniforme da radiação através do meio a ser esterilizado (WARRINER *et al.*, 2000; GARDNER & SHAMA, 1998; IANNOTTI & PISANI JR, 2013).

Os processos de tratamento de RSS empregados em escala no Brasil utilizam a autoclavagem (46,7 % da capacidade instalada), a incineração (31,6 %) e o aquecimento dielétrico, por exposição a micro-ondas (21,7 %) (ABRELPE, 2013). Nota-se, portanto, que 68,4 % da capacidade instalada utiliza técnicas de não-combustão que têm por objetivo principal a redução da carga de patógenos, praticamente sem envolver a transformação química dos materiais e substâncias presentes nos RSS.

Nesse sentido, é recorrente na literatura técnica trabalhos que identificam falhas na segregação de RSS em hospitais de assistência à saúde humana e animal, postos de saúde, laboratórios clínicos em que uma parcela considerável de resíduos do Grupo B é descartada em conjunto com resíduos dos grupos A e E (RIBEIRO & PISANI JR, 2012; SILVA & HOPPE, 2004; BERTO *et al.*, 2012, PILGER & SCHENATO, 2008). Sendo assim, é possível que os RSS dos grupos A e E tratados por técnicas de não-combustão contenham contaminantes químicos que, em tese, podem tornar o RSS, ainda que tratado para reduzir a carga de patógenos, inadequado para a disposição final em aterro para resíduos não perigosos, em função da presença de substâncias químicas que confirmam periculosidade ao rejeito.

Informações técnicas foram levantadas para caracterizar o processo de tratamento por autoclavagem em uma planta em escala real, tomada como estudo de caso. Verificou-se a periculosidade dos RSS dos grupos A e E, tratados através da obtenção e análise química do extrato lixiviado de amostras dos resíduos tratados para classificá-los como resíduos perigosos ou não perigosos, com base nas normas NBR 10.004/2004, NBR 10.005/2004 e NBR 10.007/2004.

MATERIAL E MÉTODOS

A unidade de tratamento em estudo contém duas autoclaves que processam em média 10 t.d⁻¹ de RSS dos grupos A (exceto A3 e A5) e E. As autoclaves são constituídas em aço inoxidável, têm formato cilíndrico, com dimensões de 3.000 mm de diâmetro externo e 6.200 mm de altura, e volume útil da câmara de 5.150 L. O volume máximo de RSS tratado por ciclo é de 2.000 L, com duração de aproximadamente 60 min para as etapas de carregamento, trituração, desinfecção, resfriamento, drenagem e descarga. A desinfecção

ocorre devido à exposição dos RSS ao calor úmido e à pressão absoluta de 3,8 bar, que resulta em temperaturas dos resíduos na faixa de 138 °C a 142 °C, por aproximadamente 15 min. Na planta são processadas em média 15.000 bateladas por ano, que representam cerca de 3.000 t.ano⁻¹ de RSS. As etapas do processo de tratamento do RSS, desde sua recepção na unidade de tratamento até a disposição final do resíduo tratado, estão ilustradas na Figura 1.

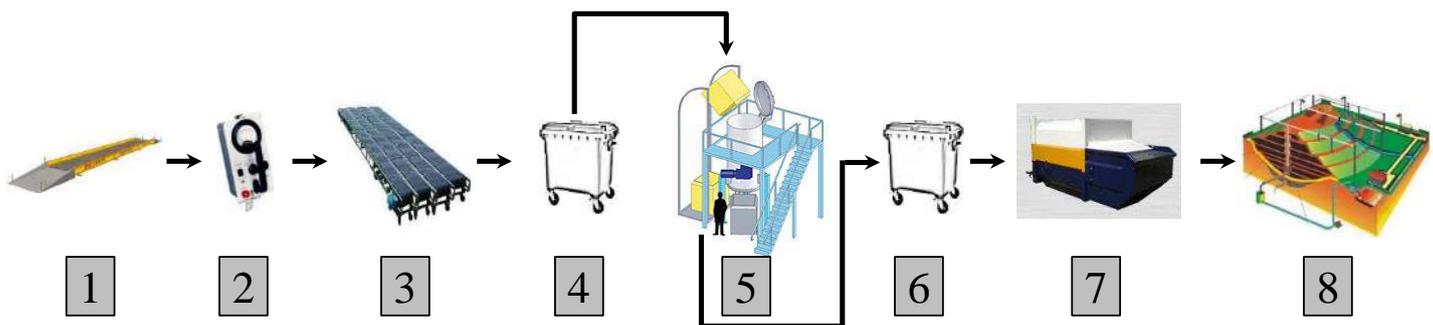


Figura 1 - Fluxograma do processo de autoclavagem de RSS dos Grupos A e da unidade avaliada: 1 – pesagem; 2 – medição de radiação por contador Geiger; 3 e 4 – transporte e armazenamento temporário dos resíduos recebidos; 5 – exposição ao calor úmido com trituração prévia nas autoclaves (3,8 bar, 138 °C a 142 °C durante aproximadamente 15 min); 6 e 7 – transporte e armazenamento temporário dos resíduos tratados; 8 – disposição final dos resíduos tratados em aterro para resíduos não perigosos (classe II).

Amostragem do RSS Autoclavado

As amostras simples de RSS tratados foram retiradas dos recipientes de transporte, aleatoriamente escolhidos, (item 6 da Figura 1) da seguinte forma: uma amostra da parte superior, uma da parte central e uma da parte inferior, utilizando para isto um amostrador do tipo *trier*. O amostrador foi feito com um tubo de aço inox e possui uma parte chanfrada em quase todo seu comprimento. A ponta e as bordas do chanfro foram afiadas para permitir que o material fosse cortado ao girar o *trier* no interior da massa de resíduo. Logo, foi necessário verificar se as bordas do amostrador estavam convenientemente afiadas e descontaminadas. No amostrador, foi introduzida uma massa de RSS tratado, em um ângulo entre 0° e 45°. O amostrador foi rotacionado duas vezes para cortar o material. Posteriormente, retirou-se vagarosamente o amostrador do material, assegurando que sua abertura estivesse para cima, transferindo assim a massa para um recipiente, com o auxílio de uma espátula. Assim, as

amostras simples obtidas foram homogeneizadas em um recipiente para formar amostras compostas (NBR 10007/2004).

As amostras compostas foram quarteadas com o intuito de obter-se amostras representativas, com aproximadamente 500 g. O processo de quarteamento consistiu na divisão das amostras em quatro partes iguais, sendo tomadas duas partes opostas entre si para compor uma nova amostra e descartadas as partes restantes. As partes não descartadas foram mescladas e revolvidas (Figura 2). Esse procedimento foi repetido até que fossem obtidas amostras com massas desejadas e que permitissem inicialmente determinar o potencial hidrogeniônico do sólido e escolher a solução de extração (nº 1 ou nº 2 da NBR 10005/2004), e posteriormente obter o extrato lixiviado dos RSS tratados na unidade.

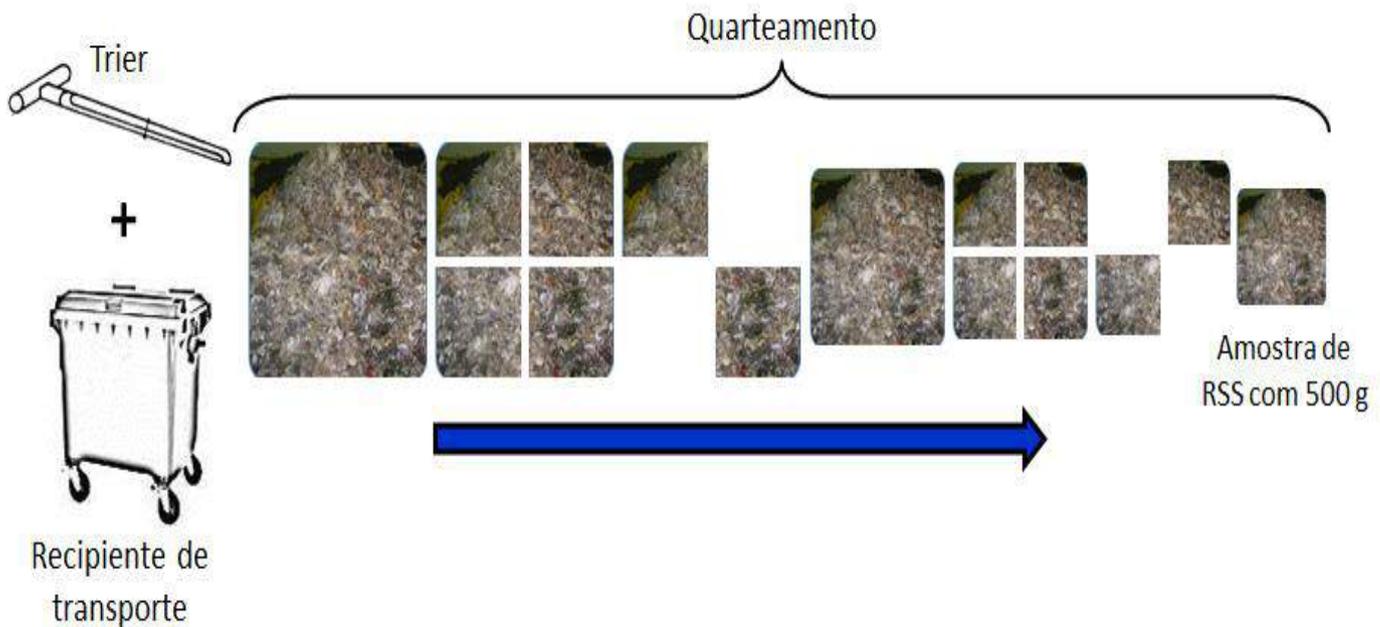


Figura 2 - Esquema representativo do procedimento de amostragem dos RSS tratados na planta de autoclavagem.

FONTE: OS AUTORES, 2015.

Obtenção do Extrato Lixiviado do RSS Tratado

Inicialmente, foi necessário obter os teores de sólidos das amostras de RSS, uma vez que a NBR 10005/2004 estabelece diferentes procedimentos para resíduos com teores de sólidos de 100 %, com até 0,5 % e menos de 100 % e mais 0,5 %. Além disso, reduziu-se o tamanho das partículas, de forma a 100 % delas serem passantes na malha de abertura igual a 9,5 mm. Nessas condições, as amostras estavam aptas para serem submetidas à etapa de lixiviação.

Posteriormente, foi necessário definir a solução a ser utilizada na extração do lixiviado (solução nº 1 ou nº 2 da NBR 10005/2004), que é função do potencial hidrogeniônico do resíduo. Na determinação do pH do sólido, 5 g de resíduo, com tamanho inferior a 9 mm, foram adicionados a 96,5 ml de água deionizada e a mistura foi submetida à agitação vigorosa por 5 min. Como os valores de pH das suspensões foram sempre

inferiores a 5, a solução de extração foi a de nº 1, que era preparada adicionando-se 11,4 ml de ácido acético glacial a 128,6 ml de solução de NaOH 1,0 N e completando-se o volume de 2 L com água deionizada.

A solução de extração nº 1 foi colocada em contato dinâmico com 100 g de amostra representativa do RSS tratado na planta. A suspensão resultante foi transferida para o frasco de lixiviação, feito de material inerte (vidro de borossilicato) e estanque, e submetida à agitação por 18h a 30 rpm para evitar a estratificação da suspensão. A quantidade de solução de extração foi 20 vezes maior que a massa da amostra, ou seja, 2.000 g. Passado o período de agitação, a suspensão foi filtrada sob vácuo em membrana de fibra de vidro isenta de resina e com abertura entre 0,6 μm e 0,8 μm . O filtrado obtido foi denominado de extrato lixiviado ou lixiviado.

Caracterização do Lixiviado

Os parâmetros utilizados para caracterizar quimicamente o lixiviado foram as concentrações de: Arsênio, Cádmio, Chumbo, Cromo total, Mercúrio, Prata, o-Cresol, m-Cresol, p-Cresol e Cresol Total e íons. Na Tabela 1 são mostrados os métodos analíticos e os equipamentos utilizados.

Tabela 1 - Métodos analíticos e equipamentos utilizados

Concentração	Método	Equipamento
Fluoreto	Espectrofotométrico	Espectrofotômetro DR 2000, HACH
Cádmio	EAA- Chama	Espectrofotômetro de Absorção Atômica Analyst-700 Perkin Elmer
Prata	EAA- Chama	Espectrofotômetro de Absorção Atômica Analyst-700 Perkin Elmer
Cromo	EAA- Chama	Espectrofotômetro de Absorção Atômica Analyst-700 Perkin Elmer
Chumbo	EAA- Chama	Espectrofotômetro de Absorção Atômica Analyst-700 Perkin Elmer
Arsênio	EAA-Ghidreto	Espectrofotômetro de Absorção Atômica Analyst-700 Perkin Elmer
Mercúrio	EAA-Ghidreto	Espectrofotômetro de Absorção Atômica Analyst-700 Perkin Elmer
Cresol Total	Cromatografia em fase gasosa	CG Agilent com DIC, coluna SGE-BPX 70, 25 m x 0,22 mm ID x 0,25µm filme
o-Cresol	Cromatografia em fase gasosa	CG Agilent com DIC, coluna SGE-BPX 70, 25 m x 0,22 mm ID x 0,25µm filme
m-Cresol	Cromatografia em fase gasosa	CG Agilent com DIC, coluna SGE-BPX 70, 25 m x 0,22 mm ID x 0,25µm filme
p-Cresol	Cromatografia em fase gasosa	CG Agilent com DIC, coluna SGE-BPX 70, 25 m x 0,22 mm ID x 0,25µm filme
Sólidos totais	Gravimétrico	Balança analítica Sartorius BL 210 S e filtro a vácuo

Na análise do fluoreto, foi retirado o volume de 25 ml do extrato lixiviado e acrescentado 5 ml de reagente *Spands* para fluoreto, e assim, foi determinada sua concentração por colorimetria em espectrofotômetro modelo DR 2000 (*Direct Reading Spectrophotometer*) da marca *Perkin Helmer*.

Já as concentrações de Cádmio, Prata, Cromo, Chumbo, Arsênio e Mercúrio foram obtidas a partir de amostras digeridas e filtradas dos extratos lixiviados por Espectrofotometria de Absorção Atômica no equipamento *Analyst 700* da marca *Perkin Elmer*. A digestão foi realizada em duas etapas: adição de volumes iguais de solução de ácido nítrico (1:1) e de lixiviado (50 ml), até que o volume resultante fosse reduzido, então, esta amostra teve seu volume completado até 50 ml com

solução de ácido clorídrico (1:1). Após a redução do volume, completou-se o volume de cada amostra para 50 ml com água destilada. A filtração ocorreu a vácuo, em membrana de 0,45 µm. As concentrações de Arsênio e Mercúrio no lixiviado filtrado e acidificado com 1,0 ml de HNO₃ (1:1) também foram medidas por Espectrofotometria de Absorção Atômica, porém com gerador de hidretos da marca *Perkin Elmer*.

Na determinação das concentrações de o-Cresol, m-Cresol, p-Cresol e Cresol Total, foi utilizado o cromatógrafo em fase gasosa da marca *Agilent* modelo 6890, equipado com sistema de injeção tipo *slit/splitless*, operando no modo *split* na razão de 10:1 e detector de ionização de chama (CG-DIC), conectado a um microcomputador com *software* para cromatografia

Chemstations. O gás de arraste utilizado foi o nitrogênio 5.0 analítico (White Martins). Para melhor identificação e quantificação da amostra, foi utilizada uma coluna capilar SGE BPX 70 de 25 m de comprimento, 0,22 mm de diâmetro interno e 0,25 μm de filme. As condições operacionais das análises cromatográficas que resultaram na identificação dos cresóis foram: fluxo do gás de arraste na razão de 0,5 mL.min⁻¹; o injetor foi mantido à temperatura de 150°C e o detector a 350°C; a

temperatura inicial do forno da coluna foi mantida a 50°C por 5 min sendo aquecida até 100°C à taxa de aquecimento de 5°C.min⁻¹ com posterior aquecimento até 200°C à razão de 10°C.min⁻¹, com o intuito de obter um cromatograma de estabilidade na linha de base e identificação de cresóis com áreas bem definidas. A solução padrão para cresóis utilizada foi da marca Supelco.

Determinação do Número de Amostras

O estudo envolveu preliminarmente a obtenção e caracterização do resíduo para o cálculo do número de amostras necessárias, a partir de um conjunto de dados, com desvio padrão conhecido, para resultar no intervalo de confiança de 98%. O número de amostras foi determinado a partir de resultados de um teste piloto com 9 amostras. Foram escolhidas as condições mais desfavoráveis para determinação do desvio padrão, com poder do teste (1- β) previamente estipulado e com grau de confiança pré-definido (α). Nessa etapa foi utilizado o plano probabilístico de amostragem aleatória simples e o cálculo do número de amostras foi realizado no programa computacional G*Power 3.1 com 4 parâmetros inter-relacionados: o tamanho do efeito, o tamanho da amostra; a significância (α) e o poder estatístico (1 - β) (COHEN & LEA, 2004; ELLIS, 2010).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 2 pode-se observar as concentrações de substâncias não-voláteis e os potenciais hidrogeniônicos dos lixiviados obtidos das amostras de RSS tratados na unidade, assim como os seus teores de sólidos totais.

Tabela 2 - Concentrações de substâncias não voláteis e potencial hidrogeniônico dos lixiviados e teores de sólidos totais presentes nas amostras de RSS tratados na planta

	Chumbo	Cádmio	Prata	Cromo	Arsênio	Mercúrio	Fluoreto	Sólidos Totais (% p/p)	pH (-)
VM* (mg/L)	1,0	1,0	5,0	5,0	1,0	0,1	150	-	-
Amostras	Ensaio Preliminares (mg/L)								
1	< 0,01	0,05	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,37	78,7	5,80
2	< 0,01	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,33	51,0	6,58
3	< 0,01	0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,40	67,7	5,96
4	< 0,01	0,04	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,20	61,3	5,77
5	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,23	58,4	7,38
6	< 0,01	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,21	56,3	5,91
7	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,24	63,0	6,42
8	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,19	49,6	5,87
9	< 0,01	0,19	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,23	58,0	5,45

	Chumbo	Cádmio	Prata	Cromo	Arsênio	Mercúrio	Fluoreto	Sólidos Totais (% p/p)	pH (-)
VM* (mg/L)	1,0	1,0	5,0	5,0	1,0	0,1	150	-	-
Ensaio Complementares (mg/L)									
10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,140	< 0,01	< 0,01	1,22	56,1	5,38
11	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,074	< 0,01	< 0,01	0,70	54,2	5,34
12	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,052	< 0,01	< 0,01	1,06	41,4	5,30
13	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,044	< 0,01	< 0,01	1,05	49,7	5,40
14	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,080	< 0,01	0,13	1,01	49,5	5,98
15	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,031	< 0,01	0,15	1,16	64,8	7,66
16	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,022	< 0,01	0,16	0,92	55,0	5,62
17	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,13	0,64	51,6	7,24
18	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,046	< 0,01	0,05	1,10	63,6	5,47
19	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,068	< 0,01	0,05	1,04	55,9	5,52
20	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,044	< 0,01	0,12	1,02	58,1	5,98

*VM = LIMITES ESTIPULADOS NA NBR 10.004/2004 ACIMA DO QUAL O RESÍDUO SERÁ CLASSIFICADO COMO PERIGOSO

Os teores de sólidos obtidos no intervalo de 41,4% a 78,7% corroboraram que o procedimento utilizado para obtenção do extrato lixiviados dos RSS amostrados estava condizente com o estabelecido na NBR 10005/2004 para resíduos com sólidos totais entre 0,5 % e 100 %. Além disso, os pH dos lixiviados variaram entre 7,66 (básico) e 5,30 (ácido), que seriam indicativos da presença de substâncias químicas, pois caso o resíduo fosse composto apenas de materiais inertes, o pH deveria ser uniforme e próximo do encontrado para a solução de extração de nº 1, que foi de 4,93.

Nota-se também pela Tabela 2 que a concentração de Cádmio no lixiviado (0,19 mg.L⁻¹) obtida nos ensaios preliminares (amostras de 1 a 9 na Tabela 2) foi a mais próxima do limite (1,0 mg.L⁻¹) estabelecido na NBR 10004/2004. O desvio padrão encontrado para esse conjunto de concentrações de Cádmio foi 0,06 mg.L⁻¹, que associado ao grau de confiança de 1,8% e à significância de 98% resultou no número (ou tamanho) de amostra de 20 (Figura 2). Sendo assim, fez-se mais 11 amostragens, cujos resultados estão representados na Tabela 2 (amostras de 10 a 20).

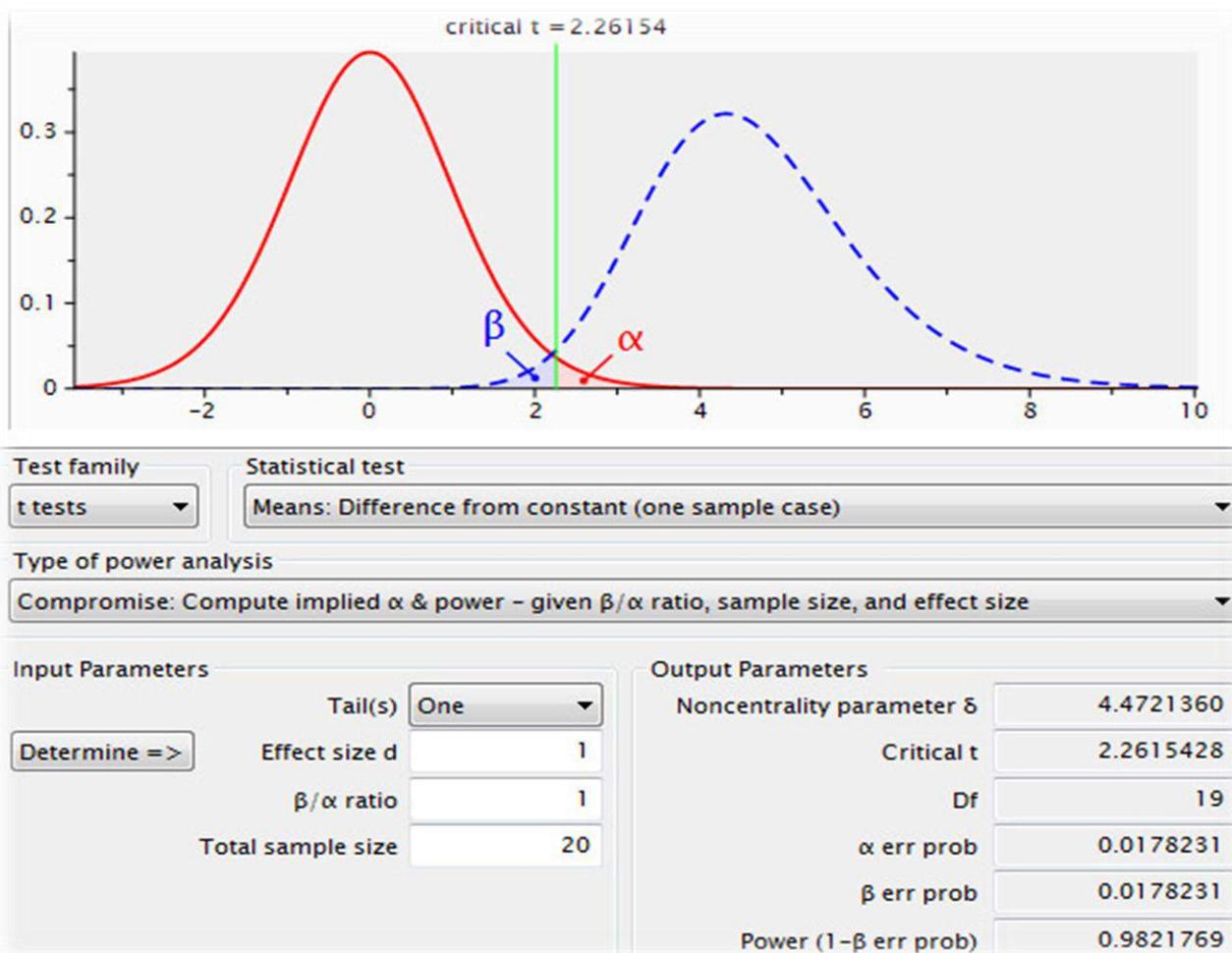


Figura 3 - Tela de Effect Size e o Power para 20 amostras (Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, 2013)

Nos ensaios complementares, as concentrações dos elementos não-voláteis presentes nos lixiviados dos RSS tratados na planta. De acordo com os resultados da Tabela 4, as amostras 14, 15, 16, 17 e 20 apresentaram quantidades de mercúrio superiores aos limites de 0,1 mg.L⁻¹ estipulados da NBR 10.004/2004. Esse resultado foi suficiente para classificar o resíduo como perigoso e constatar que o mesmo deveria ser disposto em aterros para resíduo Classe I. Porém, uma vez que o plano de amostragem havia sido baseado no desvio padrão da concentração de Cádmio presente no lixiviado obtido nos ensaios preliminares, com 9 amostras e que com a realização dos ensaios complementares o parâmetro crítico passou a ser a concentração de Mercúrio, com o total de 20 amostras, é possível que o intervalo de confiança tenha sido alterado. No entanto, o desvio padrão determinado para a concentração de mercúrio nas 20 amostras de lixiviado também foi igual a 0,06 mg.L⁻¹. Portanto, o intervalo de confiança e a margem de

erro permaneceram constantes, ou seja, 98% e 1,8% respectivamente.

O mercúrio encontrado no RSS dos grupos A e E, tratados na planta, pode ser proveniente do descarte inadequado de consultórios odontológicos, lâmpadas fluorescentes e derramamento acidental de equipamentos médicos contendo esta substância (NAZAR *et al.*, 2005). Conforme a Resolução SS nº 239 de 2010, ficou proibido na rede pública de saúde do Estado de São Paulo o uso e o armazenamento de equipamentos para medição de pressão ou temperatura contendo Mercúrio, bem como Mercúrio para uso odontológico a partir de 2012.

A má segregação do resíduo do grupo B deve ser a principal causa da contaminação por mercúrio dos RSS dos grupos A e E (RIBEIRO & PISANI JR, 2012; SILVA & HOPPE, 2004; BERTO *et al.*, 2012, PILGER & SCHENATO, 2008, RAMOS *et al.*, 2011). Além disso, apesar de ser

muito controverso o uso de Mercúrio em vacinas, ele continua sendo utilizado. Testes neurológicos foram aplicados em crianças com níveis de mercúrio considerados seguros ($10 \mu\text{g.g}^{-1}$ no cabelo), sendo constatados problemas na linguagem, atenção e memória. Danos neurológicos foram constatados também em níveis mais baixos de 5 a $10 \mu\text{g.g}^{-1}$. Exames realizados em pessoas intoxicadas 6 dias após o fim da exposição mostraram que os níveis de mercúrio tenderam a voltar ao normal, abaixo de $5 \mu\text{g.g}^{-1}$ (REILLY *et al.*, 2010). De acordo com a Resolução CONAMA 430/2011 que estabeleceu as condições e padrões de lançamento de efluentes e alterou a Resolução CONAMA 357/2005, o limite máximo para o lançamento de mercúrio é de $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$. Portanto, provavelmente, haveria necessidade de tratamento do lixiviado para remoção de mercúrio, antes do lançamento no corpo d'água receptor.

Os resultados da Tabela 2 também permitiram constatar que o Cádmiio é uma substância provável de contaminação, pois seus valores analisados nas amostras foram próximos do limite máximo para resíduo não-perigoso ($0,19 \text{ mg.L}^{-1}$ frente ao limite de $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$). Outro elemento presente dentro do limite de detecção do equipamento utilizado foi o fluoreto, porém com menor risco e tornar o resíduo perigoso, pois o valor máximo medido foi de $0,40 \text{ mg.L}^{-1}$ para o limite de 150 mg.L^{-1} .

Quanto à análise de cresóis, o método mostrou-se linear para as concentrações de o-Cresol, m-Cresol, p-Cresol e Cresol Total no intervalo de $2,5 \text{ mg.L}^{-1}$ a $20,0 \text{ mg.L}^{-1}$. O cromatograma referente à análise de solução padrão possuía linha de base suficientemente estável, com picos de identificação com áreas e tempos bem definidos no intervalo de 22 min a 24 min após a injeção. O limite de detecção obtido foi de $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$, que foi sensivelmente inferior ao valor estabelecido na NBR 10004/2004 para distinguir o rejeito como perigoso ou não perigoso que é de 200 mg.L^{-1} para cada substância. Em nenhuma das 20 amostras foram encontradas concentrações de o-Cresol,

m-Cresol, p-Cresol e Cresol Total superior ao limite de detecção do equipamento.

O custo de tratamento dos RSS por autoclavagem é de aproximadamente R\$ 1.750,00 por tonelada (PREFEITURA MUNICIPAL DE MOCOCA, 2012), mas, a contaminação do resíduo com mercúrio e a consequente necessidade de fazer a disposição em aterro para resíduos perigosos faria com que o custo de disposição final em aterro sanitário licenciado passasse de R\$ 50,00 a R\$ 100,00 para R\$ 200,00 a R\$ 300,00 em aterro licenciado para resíduos perigosos, ou seja, 233% em relação ao valor médio por tonelada. Assim, os custos de tratamento e disposição final destes resíduos seriam de aproximadamente R\$ 2.000,00; ou seja, seriam muito próximos do custo de incineração de resíduos perigosos em sistemas licenciados, estimado de R\$ 2000,00 a R\$ 3000,00, dependendo do poder calorífico dos materiais tratados (ECOBAS, 2014). Uma vez que os RSS são compostos predominantemente por materiais combustíveis, o custo de incineração deve estar do próximo limite inferior (R\$ 2000,00).

Ou seja, os custos de tratamento dos RSS dos grupos A (exceto A3 e A5) e E por autoclavagem e de disposição final dos rejeitos em aterro para resíduos Classe I são praticamente equivalentes ao custo de incineração. Porém, o tratamento térmico dos RSS envolvendo combustão tem a vantagem de converter quimicamente também os resíduos do Grupo B, em conjunto com os dos grupos A e E, em gases de combustão, cinzas e escórias, cujos custos de tratamento e de disposição final já estão incluídos no preço de incineração. A Resolução CONAMA 316/2002 regulamentou os procedimentos e critérios operacionais de sistemas de tratamento térmico de resíduos, aliados ao controle de emissões atmosféricas e a disposição final dos rejeitos. Portanto, nos casos em que a etapa de segregação for deficiente na cadeia de gerenciamento dos RSS, a destinação desses resíduos em plantas de incineração licenciadas será vantajosa do ponto de vista ambiental, a um custo compatível quando comparado ao custo da destinação envolvendo a autoclavagem e disposição final em aterro.

CONCLUSÕES

As análises químicas dos extratos lixiviados de 20 amostras de resíduos de serviços de saúde, tratados em uma unidade de desinfecção por autoclavagem, para a concentração de 11 substâncias não voláteis, forneceram concentrações de cádmio entre 0,01 e 0,19 mg.L⁻¹, de fluoreto entre 0,19 e 1,22 mg.L⁻¹ e de mercúrio no intervalo de 0,05 a 0,16 mg.L⁻¹. Uma vez que a concentração de mercúrio em 5 amostras excedeu o limite estabelecido no Anexo F da NBR 10.004/ 2004 de 0,10 mg.L⁻¹, os RSS tratados na unidade foram classificados como classe I, perigosos. O intervalo de confiança e a margem de erro foram de 98 % e 1,8 % respectivamente, em decorrência do desvio padrão da concentração de mercúrio nas 20 amostras de lixiviado ser de 0,06 mg.L⁻¹. Portanto, a disposição final do RSS tratados deveria ser efetuada em aterro licenciado para resíduo da classe I e não em aterro sanitário como tem sido atualmente praticado.

Além disso, os resultados obtidos corroboram para os diagnósticos realizados na bibliografia consultada no sentido de constatar a má segregação dos resíduos do grupo B nas unidades geradoras, uma vez que as

substâncias detectadas são indicativas da presença de resíduos químicos, descartados em conjunto com infectantes e perfurocortantes, que por sua vez, foram destinados à unidade de tratamento por autoclavagem. Em decorrência disso, o custo de destinação final do rejeito seria elevado em aproximadamente 10 %, em decorrência do aumento de 233% no custo de disposição final em aterro para resíduo da Classe I.

Portanto, os custos de tratamento dos RSS dos grupos A e E por autoclavagem e de disposição final dos rejeitos em aterro para resíduos perigosos mostraram-se praticamente equivalentes ao custo de incineração de R\$ 2.000,00. Desse modo, nos casos em que a etapa de segregação for deficiente, fato amplamente relatado na literatura revisada, a incineração em sistemas licenciados será competitiva, do ponto de vista econômico, sendo que, com a vantagem de destruir termicamente os resíduos do Grupo B, junto aos resíduos dos grupos A e E, quando comparada com a destinação envolvendo a autoclavagem e disposição final dos rejeitos em aterro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004**: Resíduos Sólidos: Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10005**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004. 16 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004. 21 p.
- BERTO, D. N.; CZYKIEL, R.; BARCELLOS, M. D. Treinamentos sobre resíduos sólidos de serviços de saúde (RSSS) em hospitais de Porto Alegre/RS na percepção de profissionais atuantes. **Revista de Gestão em Sistemas de Saúde**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 41–62, 2012.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução RDC nº 306, de 7 de dezembro de 2004**. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde. Brasília, DF. 2004.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 316, de 29 de outubro de 2002**. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. 2005.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. 2005.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 358, de 29 de abril de 2005**. Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências. Brasília, DF. 2005.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº. 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº. 357 de 17 de março de 2005.
- COHEN, B. H.; LEA, B. R. **Essentials of Statistics for the Social and Behavioral Sciences**. John Wiley & Sons, 2004. 291 p.
- CORONEL, B.; DUROSELLEY, P.; BEHRY, H.; MOSKOVITCHENKO, J. F.; FRENEY, J. In situ decontamination of medical wastes using oxidative agents: a 16-month study in a polyvalent intensive care unit. **Journal of Hospital Infection**, v. 50, p. 207–212, 2002.
- DIAZ, L.; SAVAGE, G. M.; EGGERTH, L. L. Alternatives for treatment and disposal of healthcare wastes in developing countries. **Waste Management**, v. 25, p. 626–637, 2005.
- ECOBRAS TECNOLOGIA AMBIENTAL S.A. **Comunicação verbal em 01 de abril**. Sarzedo, MG. 2014.
- ELLIS, P. **The Essential Guide to Effect Sizes**. Cambridge University Press, United Kingdom. 2010. 173 p.
- HEINRICH-HEINE-UNIVERSITÄT DÜSSELDORF G*Power: Statistical Power Analyses for Windows. Versão 3.1.9: 2013. Disponível em: <http://www.gpower.hhu.de/>. Acesso em: 13/03/2014.
- IANNOTTI, M. T.; PISANI JR, R. Inactivation of *Bacillus atrophaeus* spores in healthcare waste by UV light coupled with H₂O₂. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 30, n. 3, p. 507–519, 2013.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais. **Pesquisa de Informações Básicas Municipais 2012**. Brasília, 2013. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/perfilmunic/2012/defaulttab_pdf.shtm>. Acesso em: 19/03/2014.
- GARDNER, D. W. M.; SHAMA, G. The kinetics of *Bacillus subtilis* spore inactivation on filter paper by u.v. light and u.v. light in combination with hydrogen peroxide. **Journal of Applied Microbiology**, v. 84, p. 633–641, 1998.

NAZAR, M. W.; PORDEUS, I. A.; WERNECK, M. A. F. Gerenciamento de resíduos sólidos de odontologia em postos de saúde da rede municipal de Belo Horizonte, Brasil. **Revista Panamericana de Salud Pública**, v. 17, n. 4, p. 237–242, 2005.

OLIVEIRA, E. A.; NOGUEIRA, N. G. P.; INNOCENTINI, M. D. M.; PISANI, JR. R. Microwave inactivation of *Bacillus atrophaeus* spores in healthcare waste. **Waste Management**, v. 30, p. 2327-2335, 2010.

PELLERIN, C. Alternatives to incineration: There's more than one way to remediate. **Environmental Health Perspectives**, v. 12, p. 840-845, 1994.

PISANI JR. R.; TONUCCI, L.R.S.; INNOCENTINI, M.D.M. Inativação de *Pseudomonas aeruginosa* em resíduos de serviços de saúde por micro-ondas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 284-290, 2008.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MOCOCA. Departamento de Agricultura e Meio Ambiente. **Comunicação verbal em 30 de março**. Mococa, SP. 2012.

PILGER, R. R.; SCHENATO, F. Classificação dos resíduos de serviços de saúde de um hospital veterinário. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 23–28, 2008.

RAMOS, Y. S.; PESSOA, Y. S. R. Q.; RAMOS, Y. S.; ARAÚJO NETTO, F. B.; PESSOA, C. E. Q. Vulnerabilidade no manejo dos resíduos de serviços de saúde de João Pessoa (PB, Brasil). **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 16, n. 8, p. 3553-3560, 2011.

REILLY, S. B.; MCCARTY, K.; STECKLING N.; LETTMEIER, B. Mercury exposure and children's health. **Current Problems in Pediatric and Adolescent Health Care**, v. 40, n. 8, p. 186-215, 2010.

RIBEIRO, A. B.; PISANI JR, R. Método de obter a geração de resíduos de serviços de saúde para monitorar a execução do plano de gerenciamento de resíduos em um hospital. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica**, v. 5, n. 2, p. 11-27, 2012.

SÃO PAULO. Secretaria de Saúde. **Resolução SS nº 239 de 07 de setembro de 2010**. Proíbe a compra e uso de termômetros, esfigmomanômetros e materiais especificados contendo mercúrio nos estabelecimentos assistenciais da Secretaria de Estado da Saúde de São Paulo. São Paulo, SP. 2010.

SILVA, C. E. D.; HOPPE, A. E. Diagnóstico dos resíduos de serviços de saúde no interior do Rio Grande do Sul. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 146–151, 2004.

TONUCCI, L.R.S.; PASCHOALATO, C.F.P.R.; PISANI JR., R. Microwave inactivation of *Escherichia coli* in healthcare waste. **Waste Management**, v. 28, p. 840–848, 2008.

WARRINER, K.; RYSSTAD, G.; MURDEN, A.; RUMSBY, P.; THOMAS, D.; WAITES, W. M. Inactivation of *Bacillus subtilis* spores on packaging surfaces by U.V. excimer laser irradiation. **Journal of Applied Microbiology**, v. 88, p. 678-685, 2000