

### Área temática 3: Reciclagem

## **CARACTERIZAÇÃO DO RSU DA CIDADE DE OURO PRETO VISANDO SUA POSSÍVEL UTILIZAÇÃO EM COPROCESSAMENTO**

*Julia Teixeira Pimenta<sup>1</sup> (julia.pimenta@aluno.ufop.edu.br), Livia Cristina Pinto Dias<sup>1</sup>  
(livia.dias@ufop.edu.br)*

1 Universidade Federal de Ouro Preto

### **RESUMO**

Ouro Preto é conhecida como cidade histórica, mas convive com problemas modernos de urbanização. Um desses problemas é o gerenciamento do resíduo sólido urbano (RSU). De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, o gerenciamento dos resíduos sólidos deve priorizar a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Esgotadas as possibilidades prioritárias, uma das alternativas de disposição ambientalmente adequada para os rejeitos é a recuperação energética, como por exemplo, no coprocessamento em fábricas de cimento. Assim, o objetivo do trabalho foi caracterizar os RSUs da cidade de Ouro Preto e analisar a viabilidade físico-química de sua utilização em indústrias cimenteiras, apresentando assim uma alternativa para o gerenciamento de resíduos da cidade. O resultado obtido foi que o RSU produzido em Ouro Preto no ano de 2018 produziria 8864,65 kJ/kg de energia por hora, mostrando que valor obtido é maior que o necessário nos processos da cimenteira. A concentração de cloro encontrada foi de 0,008%, valor considerado baixo para a formação de gases que danificam os equipamentos e são prejudiciais à saúde humana e do meio ambiente de acordo com a literatura. Com isso, é viável o uso do RSU do município, mas ainda se faz necessário pensar em novas alternativas para compor o gerenciamento dos RSUs na região e esse trabalho sugere que outros estudos sejam feitos propor políticas eficientes de gestão dos resíduos municipais.

**Palavras-chave:** Coprocessamento; Cimento; Resíduos.

## **CHARACTERIZATION OF THE OURO PRETO URBAN SOLID WASTE AIMING ITS POSSIBLE USE IN CO-PROCESSING**

### **ABSTRACT**

Ouro Preto is known as a historical and tourist city, but it coexists with modern problems of urbanization. One of these problems is the management of urban solid waste (RSU, *Resíduos Sólidos Urbanos* in Portuguese). According to the National Solid Waste Policy, solid waste management must prioritize the non-generation, reduction, reuse, recycling, treatment and disposal of wastes. Once the priority possibilities are exhausted, one of the alternatives for the environmentally appropriate disposal of solid waste is the recovery of energy, for example, in the co-processing in cement industry. Thus, the objective of this work was to characterize the RSUs of the city of Ouro Preto and to analyze the physico-chemical viability of its use in the cement industry, presenting an alternative to the city's waste management. The result obtained was that the RSU produced in Ouro Preto in the year 2018 would produce 8864.65 kJ/kg per hour, showing that the value obtained is higher than that required in the cement industry. The concentration of chlorine was 0.008%, a value considered low for the formation of gases that damage the equipment and are harmful to human health and the environment according to the literature. Thus, it is viable to use the RSU of the city, but it is still necessary to think about new alternatives to compose the management of RSUs in the region and this work suggests that other studies be made to propose efficient municipal waste management policies.

**Keywords:** Co-processing; Cement; Waste.

## 1. INTRODUÇÃO

Ouro Preto é uma cidade conhecida por ser um centro de exploração mineral desde o século XVII. Mesmo após o esgotamento da mineração de ouro, a região continuou dependente da mineração e o minério explorado atualmente é o de ferro. Com uma economia baseada na exploração mineral, Ouro Preto já foi uma das maiores cidades da América Latina no período colonial. Atualmente, a cidade possui uma população de aproximadamente 70 mil habitantes e uma taxa de crescimento populacional de 0,66% ao ano (IBGE, 2019). Ouro Preto tem experimentado da expansão urbana, com o estabelecimento de novos bairros e condomínios, conforme previsto nas normas municipais de ocupação do solo (Lei Complementar 93/2011). Assim, como diversas outras cidades do país, Ouro Preto convive e é desafiada a resolver diversos problemas ambientais decorrentes da urbanização. Entre esses problemas, observa-se o aumento da produção de resíduos sólidos urbanos (RSU) e a necessidade de se fazer o correto gerenciamento deles.

Pela Lei 12.305 de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, o gerenciamento dos resíduos sólidos deve priorizar a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Esgotadas as possibilidades prioritárias, uma das alternativas de disposição ambientalmente adequada para os rejeitos é a recuperação energética.

A Lei 12.305/2010 prevê que os RSU podem ser utilizados visando à recuperação energética desde que tenha sido comprovada a viabilidade técnica e ambiental e haja monitoramento dos gases emitidos. No estado de Minas Gerais, a Lei 21.557 de 2014 acrescenta à Lei 18.031 de 2009, que institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos, a proibição de se utilizar a tecnologia de incineração de resíduos no estado, exceto para coprocessamento em fornos de fábricas de cimento.

O coprocessamento nas cimenteiras não é novidade. A tecnologia para incineração de RSUs para aproveitamento energético nessa tipologia industrial existe desde o final do século XX. No entanto, as mudanças nessa tecnologia são constantes devido à legislação e também a mudança de composição de resíduos. Os resíduos mais usados são: farinhas animais, pneus usados, combustível derivado de resíduos (CDR) e resíduos de veículos (COSTA, 2014). Um exemplo de cimenteira que utiliza a tecnologia de coprocessamento em funcionamento é a cimenteira em Cantagalo/RJ, licenciada para o coprocessamento desde 1999 e utilizadora 50 t/mês de CDR (MEYSTRE, 2016).

Para se obter o CDR é preciso que o RSU passe por um Tratamento Mecânico e Biológico (TMB) ou Processo de Estabilização Seca, para se extrair metais, inertes e matéria orgânica (TMB), afim de se ter no final apenas plástico, papeis e têxteis com elevado poder calorífico (COSTA, 2014). Como apresenta Meystre (2016), na fabricação do cimento Portland se pode usar até 20% de CDR juntamente com pneu inservível e coque de petróleo no calcinador sem comprometer a qualidade do cimento e sem ultrapassar os parâmetros ambientais, sendo o maior fator limitante a concentração de cloro presente, que deve ficar em torno de 0,28%.

Um estudo correto do coprocessamento é feito com a caracterização do resíduo usado de origem urbana. Os RSUs podem conter muita umidade, ter características heterogêneas, ter alto teor de cloro e ser responsável, na combustão incompleta, pela liberação de óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), óxido de enxofre ( $\text{SO}_x$ ), ácido clorídrico (HCl), ácido fluorídrico (HF), amônia ( $\text{NH}_3$ ), composto orgânico volátil (COV), metais pesados, dioxinas e furanos (KARSTENSEN, 2010; GTZ/HOLCIM, 2006). Assim, a caracterização dos RSUs utilizados no coprocessamento auxilia na correta investigação se os equipamentos de controle de emissões do forno clínquer são adequados. Apesar dos gases emitidos pelo coprocessamento serem uma preocupação por oferecer riscos à saúde e ao meio ambiente, esse processo apresenta vantagens se comparado com aterros sanitários ou, como no caso de Ouro Preto, com aterros controlados.

A técnica de coprocessamento é capaz de reduzir o custo de produção já que utiliza resíduos para substituir combustíveis convencionais. O gasto energético de uma cimenteira chega a custar 50 a 60% do custo total de fabricação, sendo 75% da energia fornecida por combustíveis fósseis e o resto suprido por energia elétrica (MADLOOL et al., 2011). Em números, a indústria utiliza entre 3.000 a 6.500 MJ de combustível e entre 90 a 150 kWh de energia elétrica por tonelada de clínquer produzido (EIPPCB, 2013; KARSTENSEN, 2007). Com o coprocessamento reduz-se a necessidade de produtos de fontes não renováveis de energia, o que contribui para a preservação de todo o planeta. Além disso, o coprocessamento podem ser uma solução para alguns resíduos que tem uma logística de reciclagem dificultada uma vez que esses resíduos são destruídos e incorporados como matéria-prima na fabricação do cimento.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo do trabalho é caracterizar os RSUs da cidade de Ouro Preto e sua viabilidade físico-químicas de utilização em indústrias cimenteiras, apresentando assim uma alternativa de gerenciamento que pode compor a gestão de resíduos da cidade.

Como objetivos específicos, esse trabalho visa: analisar a capacidade calorífica dos RSUs de Ouro Preto, comparar os dados obtidos dos RSUs em Ouro Preto com os dados do CDR analisados por Meystre (2016) e avaliar a viabilidade do uso do coprocessamento como forma de gerenciamento dos resíduos no município.

## **3. METODOLOGIA**

### **3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

Ouro Preto é um município localizado em Minas Gerais, Brasil (latitude 20°23'08" S e longitude 43°30'29" O) e está a aproximadamente 110 km de Belo Horizonte, que é a capital do estado. O município de Ouro Preto possui 13 distritos (Amarantina, Antônio Pereira, Cachoeira do Campo, Engenheiro Correia, Glaura, Lavras Novas, Miguel Burnier, Rodrigo Silva, Santa Rita do Ouro Preto, Santo Antônio do Leite, Santo Antônio do Salto e São Bartolomeu) e a sede municipal (Figura 1).

Sabendo que a geração de resíduos sólidos urbanos é principalmente função da população, economia e grau de urbanização, essas são características importantes da área de estudo. A população estimada de Ouro Preto era de 73.994 habitantes em 2018. Além dessa população, Ouro Preto possui uma população flutuante composta por estudantes das Instituições de Ensino Superior (Instituto Federal de Educação de Minas Gerais - IFMG e Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP) e turistas que visitam a cidade histórica. O PIB de Ouro Preto é de aproximadamente R\$40 mil per capta e a cidade apresenta um IDH de 0,741 (que é ligeiramente superior a média nacional de 0,699) (IBGE, 2019). A economia do município decorre da mineração, turismo e serviços.

De acordo com o Censo Demográfico de 2010, a coleta dos resíduos sólidos urbanos atinge 98,5% dos domicílios de Ouro Preto. A coleta seletiva é feita na cidade por três associações de catadores, que dividem entre si os bairros atendidos. Observa-se que existe uma baixa adesão da população para colaborar com a coleta seletiva e grande parte do resíduo sólido coletado é destinado a um aterro controlado, que atualmente passa por problemas relacionados à má operação.

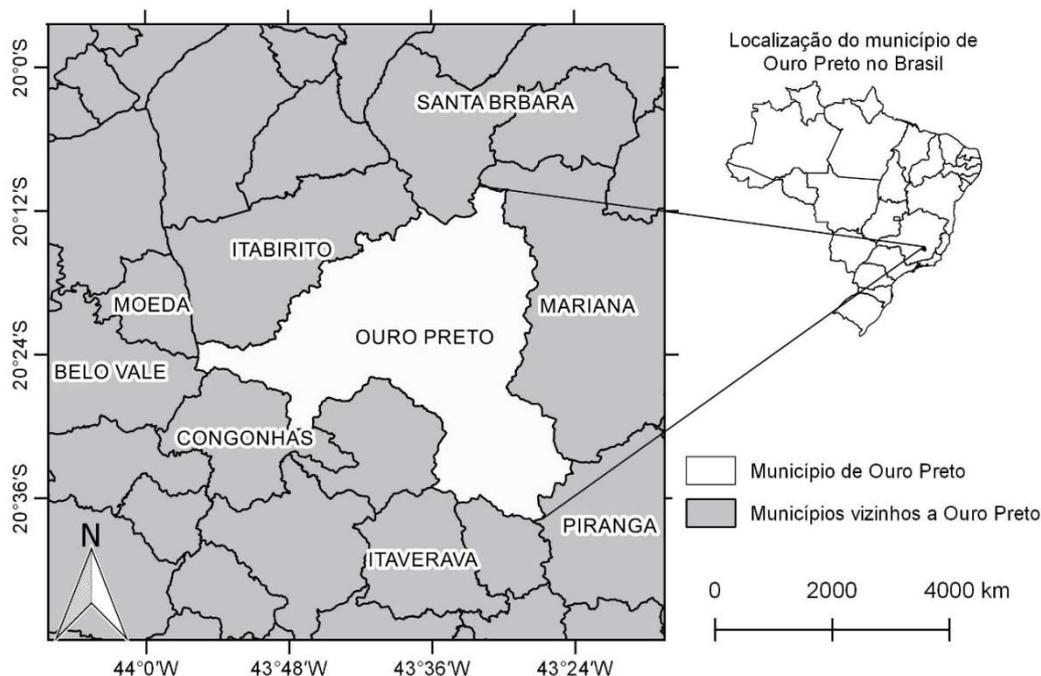
### **3.2 OBTENÇÃO DOS DADOS**

Os dados adquiridos para a caracterização dos resíduos foram obtidos com o senhor Júlio Pedrosa, Diretor de Resíduos da Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Ouro Preto. A pesagem dos caminhões de coleta visando à quantificação da produção de RSU na cidade de Ouro Preto começou a ser realizada no ano de 2018. Assim, ainda não existem dados que comprovem que o crescimento populacional do município esteja diretamente correlacionado ao aumento da produção de resíduos. No entanto, uma vez que essa correlação vem sendo observada mundialmente, foi considerado nesse estudo que houve um aumento da produção de RSU com o aumento da

população nos anos anteriores, assim como um aumento da porcentagem de plásticos, na cidade de Ouro Preto.

O município produziu no ano de 2018 um total de 20,7 mil toneladas de resíduos. Como esses resíduos são pesados na entrada do aterro onde são dispostos, esse valor já representa a diferença entre a produção de resíduos nos domicílios e o material recolhido e reciclado pelas associações de catadores da cidade, que contribuem para a melhoria do gerenciamento de RSU.

**Figura 1 – Localização do município de Ouro Preto**



Fonte: Elaborado pelas autoras

### 3.3 ANÁLISE DA CAPACIDADE CALORÍFICA

A composição química do RSU está relacionada às quantidades de oxigênio, nitrogênio, carbono, cloro, enxofre e hidrogênio presentes e essa composição é um dado necessário, juntamente com a composição gravimétrica e taxa de geração, para se obter o valor do Poder Calorífero Inferior (PCI).

Os RSUs foram caracterizados fisicamente e quimicamente considerando a metodologia utilizada por Meystre (2016). O autor analisou a viabilidade técnica e ambiental do uso de uma mistura de CDR, pneu inservível e coque de petróleo em duas frentes de produção de clínquer, uma com calcinador em linha e outra com calcinador separado. Para chegar ao seu objetivo, Meystre (2016) compilou uma extensa revisão bibliográfica sobre as propriedades físicas e químicas dos RSUs e, por isso, o seu trabalho será utilizado como referência para o presente estudo.

A estimativa da capacidade calorífica foi feita utilizando as seguintes equações:

$$PCS = 1497C + 49374H - 46440 + 2700N + 4500S + 1692Cl + 11700P$$

$$PCI = \{PCS - [4,18 * 597 * (9H + H_2O)]\} \times 2,326 \frac{kJ}{kg}$$

Onde *PCS* é o poder calorífero superior e *PCI* é o poder calorífero inferior em kJ/kg, *C* é teor de carbono em kg-C/kg de combustível, *H* é teor de hidrogênio em kg-H/kg de combustível, *O* é teor

de oxigênio em kg-O/kg de combustível,  $N$  é teor de nitrogênio em kg-N/kg de combustível,  $S$  é teor de enxofre em kg-S/kg de combustível,  $Cl$  é teor de cloro em kg-Cl/kg de combustível,  $P$  é teor de enxofre em kg-P/kg de combustível e  $H_2O$  é a umidade do combustível em kg- $H_2O$ /kg de combustível seco.

Nesse trabalho, vidros e metais não foram incluídos na estimativa da capacidade calorífica, uma vez que não fornecem energia para o processo, são considerados inertes e não são tabelados para o cálculo do calor gerado. Além disso, considerou-se a composição química de cada componente do RSU de acordo com Liu e Liptak (2000) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Composição de cada componente do RSU (%)

	<b>Carbono</b>	<b>Oxigênio</b>	<b>Nitrogênio</b>	<b>Hidrogênio</b>	<b>Cloro</b>	<b>Enxofre</b>	<b>Umidade</b>
<b>Resto de alimento</b>	48,60	35,00	0,94	6,80	0,69	0,22	65,40
<b>Papel e papelão</b>	43,00	43,80	0,36	6,00	0,17	0,17	24,00
<b>Plástico</b>	76,30	4,40	0,26	11,50	2,40	0,20	13,30
<b>Vidro</b>	*	*	*	*	*	*	*
<b>Metal</b>	*	*	*	*	*	*	*
<b>Têxteis + Outros</b>	50,30	31,30	3,30	6,40	1,80	0,33	12,40
<b>Madeira</b>	46,70	43,40	0,71	6,00	0,12	0,16	14,80

*\*Não considerado na metodologia de cálculo da capacidade calorífica*

*Fonte: Adaptação de John Pitchel (2005); Liu e Liptak (2000)*

O cálculo da quantidade em massa de cada elemento químico por fração de componente do RSU foi dado como uma média ponderada usando os valores da Tabela 1 e da Tabela 3 (apresentada na Seção 4.1, para Ouro Preto) e calculou-se a vazão mássica (kg/h) do resíduo a partir do valor total produzido em 2018.

### 3.4 ANÁLISE DA VIABILIDADE DO COPROCESSAMENTO PARA GERENCIAMENTO DOS RSUs

A viabilidade do coprocessamento de RSUs foi feita comparando os dados obtidos nesse trabalho e os dados obtidos por Meystre (2016). Os dados que serão comparados descrevem as características físicas e químicas do resíduo e procuram definir se ele tem a capacidade térmica necessária e se possui uma baixa quantidade de cloro ( $Cl$ ).

Cabe ressaltar que, a análise e comparação dos dados foi feita com as características do RSU ao invés do CDR como Meystre (2016). O CDR é diferente do RSU por passar por tratamentos que retiram vidros, metais e diminuem da matéria orgânica. Como na cidade de Ouro Preto não existe esse tipo de processo para transformação de RSU para CDR, foram consideradas as características do RSU retirando as porcentagens de vidro e metais.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RSUs DA CIDADE DE OURO PRETO

Na Tabela 2 estão apresentados os dados da geração per capita durante o ano de 2018 em Ouro Preto. Se esse dado é convertido para a quantidade de resíduo produzido por habitante por dia, é possível concluir que a produção de 0,777 kg/hab/dia é menor ao valor médio brasileiro, que é de 0,969 kg/hab/dia (PWC/SELUR/ABLP, 2010).

**Tabela 2.** Produção de RSU na cidade de Ouro Preto em 2018.

<b>Mês</b>	<b>t/mês</b>
<b>Janeiro</b>	2085,16
<b>Fevereiro</b>	1859,81
<b>Março</b>	1839,90
<b>Abril</b>	1660,10
<b>Mai</b>	1657,24
<b>Junho</b>	1594,32
<b>Julho</b>	1566,52
<b>Agosto</b>	1624,70
<b>Setembro</b>	1630,14
<b>Outubro</b>	1666,02
<b>Novembro</b>	1585,03
<b>Dezembro</b>	1931,06

*Fonte: Dados da Secretaria de Meio Ambiente – Ouro Preto*

O conhecimento da composição gravimétrica do resíduo é um fator importante para o seu uso no coprocessamento, pois a partir dela é possível calcular o PCI, para saber se o resíduo possui a capacidade de garantir a temperatura necessária no processo de clínquerização. Por isso, na Tabela 3 está exposta a composição do resíduo estudado e é feita uma comparação com a composição gravimétrica brasileira.

**Tabela 3.** Composição gravimétrica do RSU (%)

	<b>Resto de alimento</b>	<b>Papel e papelão</b>	<b>Metal</b>	<b>Plástico</b>	<b>Vidro</b>	<b>Outros</b>	<b>Madeira</b>
<b>Brasil (2002)</b>	51,40	13,10	2,90	13,50	2,40	16,70	
<b>Ouro Preto</b>	52,59	20,72	2,15	10,60	3,98	6,19	1,67

*Fonte: Adaptação de Meystre (2016); Chandrappa e Das (2002) e Secretaria do Meio Ambiente de Ouro Preto*

#### **4.2 CÁLCULO DO CALOR GERADO NA COMBUSTÃO DO RSU**

Segundo Meystre (2016), para uma produção de 3102 t/dia de clínquer é necessário 3150 kJ/kg de energia, sendo 60% dessa energia necessária no pré-calcinador. Esses valores são específicos para o coprocessamento em fornos de cimento Portland. No trabalho de Meystre (2016), para fornecer energia foi utilizado: 70% de coque de petróleo (2205 kJ/kg), 10% de pneu inservível (315 kJ/kg) e 20% de CDR (630 kJ/kg).

O RSU analisado nesse trabalho atenderia a demanda de uma cimenteira, sendo sua vazão mássica de 2363 kg/h. O resultado obtido foi que o RSU produzido em Ouro Preto produziria 8864,65 kJ/kg de energia por hora, mostrando que valor obtido é maior que a quantidade de calor necessária para todo o processo da cimenteira.

**Tabela 4.** Cálculo da produção energética por cada componente do RSU

	C(%m/m)	O(%m/m)	H(%m/m)	N(%m/m)	Cl(%m/m)	S(%m/m)	Umidade (%m/m)
<b>Orgânico</b>	48,60	35,00	6,80	0,94	0,69	0,22	32,50
<b>Papel e papelão</b>	43,00	43,80	6,00	0,36	0,17	0,17	24,00
<b>Plástico</b>	76,30	4,40	11,50	0,26	2,40	0,20	13,30
<b>Madeira</b>	46,70	43,40	6,00	0,71	0,12	0,16	14,8
<b>Têxteis+ outros</b>	50,30	31,30	6,40	3,30	1,80	0,33	12,40
<b>Total (t/ano)</b>	10000	6580,64	1402,62	193,97	172,59	42,98	5166,01
<b>%m/m (kg/kg)</b>	0,483	0,318	0,068	0,009	0,008	0,002	0,250
<b>PCS (kJ/kg)</b>	6144,60		<b>PCI(kJ/kg)</b>	8864,65			

#### 4.3. VIABILIDADE DO COPROCESSAMENTO PARA OURO PRETO

De acordo com os resultados desse trabalho, o coprocessamento em cimenteira é uma alternativa potencialmente viável no município de Ouro Preto. O RSU de Ouro Preto possui um poder calorífico menor que o encontrado por Meystre (2016) para o CDR, o que já era esperado para um resíduo sem pré-tratamento. No entanto, o poder calorífico calculado para o RSU de Ouro Preto é maior que o necessário para os processos na cimenteira.

Além disso, a proporção de *Cl* por quantidade de resíduo é abaixo do valor de 0,28%, que foi definido por Meystre (2016) como valor máximo que garante a qualidade ambiental e a qualidade ao clínquer. A alta concentração de *Cl* é o maior fator limitante do uso do RSU no coprocessamento já que, ao ser queimado, pode ser o responsável pela formação de dioxinas, furanos e gases ácidos que danificam os equipamentos (MEYSTRE, 2016). Dioxinas e furanos são substâncias altamente cancerígenas, não solúveis em água e ao entrarem em contato com o meio ambiente são inseridos na cadeia alimentar (ARAÚJO, 2002). Com o valor encontrado de 0,008% torna o coprocessamento possível sem a necessidade de um pré-tratamento. No entanto, é preciso ressaltar que devido a essas formações de gases gerados pelo coprocessamento se fazem necessários estudos posteriores sobre as emissões atmosféricas, para que seja garantido que os valores encontrados obedeçam a legislação estadual.

Assim, o coprocessamento em fornos de cimento Portland se mostra como uma alternativa para a diminuição da disposição final em aterros. Atualmente, os resíduos sólidos urbanos de Ouro Preto são destinados a um aterro que foi projetado para ser um aterro sanitário, com previsão para possuir sistema de drenagem do chorume e drenagem de gases, além de ter sido instalado em local adequado para minimizar os impactos ambientais negativos desse tipo de atividade com base em um estudo prévio. No entanto, por causa de procedimentos operacionais inadequados durante muitos anos, hoje esse aterro pode ser melhor definido como um aterro controlado com grandes problemas operacionais. O coprocessamento pode ser uma solução para os desafios sobre a

destinação dos resíduos sólidos urbanos de uma das cidades mais conhecidas de Minas Gerais, primeiro sítio brasileiros considerado Patrimônio Mundial pela UNESCO.

Além da vantagem sobre a destinação dos RSU de Ouro Preto, podem haver vantagens sobre o valor agregado do RSU da cidade. O RSU poderá ser vendido às cimenteiras e a reciclagem de metais e vidros terá que aumentar para garantir a qualidade do CDR, gerando aumento de renda às associações de catadores e ao município.

## 5. CONCLUSÃO

Esse trabalho teve como objetivo apresentar o coprocessamento em fornos de cimento Portland como uma alternativa para o gerenciamento de RSUs em Ouro Preto, através de sua caracterização química e física e o estudo da viabilidade do processo. Dados relacionados a produção, quantificação e qualidade do RSU em Ouro Preto ainda são precários, gerando muitas aproximações no trabalho, mas nos fornece um panorama inicial sobre essa alternativa de gerenciamento do RSU municipal.

Observou-se que o Poder Calorífico Inferior (PCI) do RSU produzido no município é de 8864,65 kJ/kg, um valor superior ao necessário na planta de clínquer que é 630 kJ/kg (no caso de 20% da energia necessária ser derivada de resíduos, como para a produção do cimento Portland relatado por Meyestre (2016)). O valor do PCI é menor do que o estimado para o combustível derivado de resíduo (CDR) para o processo analisado por (Meyestre, 2016), o que está relacionado diretamente com o não pré-tratamento do resíduo. Assim como o calor gerado pelo RSU de Ouro Preto que se mostrou suficiente, a quantidade de cloro (Cl) do resíduo possui uma porcentagem menor do que o limite para segurança da saúde humana e ambiental de acordo com Meyestre (2016).

É possível considerar o coprocessamento como uma nova alternativa para compor as políticas de gestão de RSUs na região. Além de ser uma destinação que pode diminuir a pressão sobre o atual aterro que recebe os RSUs de Ouro Preto e que passa por problemas operacionais, esse processo pode se mostrar uma nova fonte de renda para o município e para as associações de catadores. No entanto, para atender a todos os parâmetros legais ainda é preciso realizar mais estudos do RSU do município afim de garantir que o coprocessamento em cimenteiras atenda todos os quesitos técnicos de qualidade e emissões atmosféricas.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, S.; SILVA, R. J. Dioxin and furan formation and destruction in rotary kiln used in waste co-processing. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas, nº 8., 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRG, 2000. p. 10.

COSTA, J. M. B. Coprocessamento de CDR no processo de produção de cimento. Lisboa, 143 p., 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Nova de Lisboa.

EIPPCB - European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau. Best available techniques (BAT) reference document for the production of cement, lime and magnesium oxide. EUR-26129. Publication Office of European Union, Luxembourg, p. 475, 2013. Disponível em: <<http://https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/reference-reports/best-available-techniques-bat-reference-document-production-cement-lime-and-magnesium-oxide>>. Acesso em: 25 fev. 2019.

GTZ; HOLCIM - Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit/Holcim. Guidelines on Co-Processing Waste Materials in Cement Production. GTZ/HOLCIM, ROHLAND & more Mediengesellschaft mbH, Offenbach, GE, p. 135, 2006. Disponível em: <<http://www.coprocem.org/Guidelines>>. Acesso em: 30 jan. 2019.

IBGE. SIDRA BANCO DE TABELAS ESTATÍSTICAS, 2019. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/pnadcm>>. Acessado em 20 mar. 2019.

LIU, H. F., LIPTÁK, B. G. Environmental engineers' handbook. 2<sup>nd</sup> edition, CRC Press Book, 1454 pp., 1997.

KARSTENSEN, K. H. Formação e emissão de POPs pela indústria de cimento. 2. ed., WBCSD, SINTEF – Fundação para Pesquisa Científica e Industrial da Noruega. BUSATO, L. C. e BUSATO, T. M. M. (tradução). São Paulo, p. 188, 2010.

MADLOOL, N. A., SAIDUR, A., R., HOSSAIN, M., S. and RAHIM, N. A. A critical review on energy use and savings in the cement industries. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 15, n. 4, p. 2042–2060, 2011.

MEYSTRE, J. A. Análise do coprocessamento de resíduo sólido urbano na indústria de cimento Portland no Brasil. Itajubá, 215 p., 2016. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Itajubá.

PICHTEL, J. Waste Managment Practices. Londres: Taylor & Francis, 2005. 80 p.

PWC/SELUR/ABLP. Gestão da Limpeza Urbana: Um investimento para o futuro das cidades. Prince Waterhouse Coopers International Limited, 2010. 58 p.