

A UTILIZAÇÃO DO LIXO URBANO COMO COMBUSTÍVEL AUXILIAR NA COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

André Kutlak Júnior¹, Luciana Maria Gasparelo Spirolon¹

¹Faculdade de Tecnologia de FATEC Ribeirão Preto (FATEC)

Ribeirão Preto, SP – Brasil

andre.kutlak@fatec.sp.gov.br,
luciana.spigolon01@fatec.sp.gov.br

Resumo. *No Brasil, a geração de energia elétrica a partir de uma fonte ambientalmente sustentável e permanente, tal como o lixo urbano, anda a passos lentos, em contramão ao visto em países desenvolvidos. Nos Estados Unidos, Europa e Ásia (em especial a China) as usinas destinadas a esse fim vem, há mais de 20 anos, se multiplicando. Hoje no mundo, já são mais de 1800 usinas. A queima desse lixo, além da produção de energia elétrica, alivia substancialmente o volume de resíduos enviados aos “lixões” e aterros sanitários. Devido a problemas de ordem ambientais gerados pela emissão de gases tóxicos como também na integridade física dos geradores de vapor e energia, neste artigo, descreve-se o processo para queima do lixo urbano juntamente com o bagaço de cana.*

Abstract. *In Brazil, the generation of electric energy from an environmentally sustainable and permanent source, such as urban waste, moves at a slow pace, contrary to what is seen in developed countries. In the United States, Europe and Asia (especially China), the plants destined for this purpose have been multiplying for more than 20 years. Today in the world, there are already more than 1,800 plants. The incineration of this garbage, in addition to the production of electricity, substantially alleviates the volume of waste sent to “dumps” and landfills. Due to environmental problems generated by the emission of toxic gases, as well as in the physical integrity of the steam and energy generators this article describes the process for incineration of urban waste together with sugarcane bagasse.*

1. Introdução

Apesar dos países desenvolvidos, principalmente na Europa, Estados Unidos e mais recentemente na Ásia (em especial a China) tratarem do assunto da queima de lixo urbano como importante processo na redução de lixões e aterros sanitários, no Brasil esse assunto ainda caminha a passos lentos. Fato que a utilização do lixo como combustível de alto valor energético não é novidade em várias partes do mundo.

Um dos grandes desafios encontrados para a viabilidade de projetos para a queima do lixo são os gases tóxicos gerados na combustão, principalmente as dioxinas e furanos, como também os efeitos deletérios em caldeiras de biomassa causados por alguns componentes presentes no lixo, como o cloro, flúor, potássio e sódio.

A separação seletiva do lixo com a retirada dos materiais que contêm esses elementos gera o que chamamos de Combustível Derivado de Resíduos (CDR). Mesmo assim, o custo para tratamento dos gases da combustão ainda é um entrave para que novos projetos saiam do papel. Geralmente, os equipamentos para esses tratamentos são mais caros do que a própria caldeira.

O que se propõem é a adição controlada deste CDR ao bagaço de cana. O bagaço de cana é largamente utilizado usinas do estado de São Paulo. A adição controlada do CDR ao bagaço de cana além de diminuir consideravelmente os efeitos deletérios nas caldeiras para geração de vapor e energia, proporcionará que estas usinas reduzam o consumo de bagaço durante a safra e esse volume poupado seja consumido durante a entressafra. Naturalmente não há essa interrupção no fornecimento de lixo e consequentemente do CDR durante o ano.

Estima-se que os 645 municípios do estado de São Paulo (IBGE, 2010), produzam juntos cerca de 63.000 ton/dia de resíduos (ABRELPE, 2020). Existem 171 usinas de açúcar no estado de São Paulo (NOVACANA, 2020).

Dessa forma, o objetivo deste artigo é descrever o processo de queima do lixo urbano (RSU e CDR) junto com o bagaço de cana.

Este artigo inicia-se com este capítulo introdutório, seguido do capítulo 2 - Embasamento teórico, em que são apresentadas as definições do que são os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), Combustível Derivado de Resíduo (CDR) e Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). No capítulo 3 – Desenvolvimento da temática, é então apresentada a caldeira de leito fluidizado borbulhante e, na sequência a explicação dos problemas enfrentados na queima do RSU como único combustível e queima consorciada do CDR ao bagaço de cana utilizando-se caldeiras já instaladas nas usinas de açúcar. No capítulo 4 – Resultados, apresenta-se as comparações entre estudos existentes sobre queima do RSU, CDR juntamente com o bagaço de cana. Por fim, no capítulo 5 – Conclusão, faz-se as discussões pertinentes.

2. Embasamento teórico

2.1. Resíduos sólidos urbanos (RSU), combustível derivado de resíduos (CDR), política nacional de resíduos sólidos (PNRS)

O “lixo” como popularmente é chamado o Resíduo Sólido, é oriundo de qualquer fonte e descartado sem nenhum critério. Não existe separação do lixo reciclável e não reciclável, tampouco do orgânico do inorgânico.

De acordo com a NBR 1004:

“Os resíduos sólidos são definidos como aqueles resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamentos de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente

inviáveis em face à melhor tecnologia disponível. (ABNT, 2004, p.01).”

A classificação de resíduos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem e de seus constituintes e características e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido (ABNT, 2004).

A identificação dos constituintes a serem avaliados na caracterização do resíduo deve ser criteriosa e estabelecida de acordo com as matérias-primas, os insumos e o processo que lhe deu origem (ABNT, 2004).

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 1004, 2004, os resíduos também podem ser classificados segundo os riscos ao meio ambiente e à saúde pública em:

- Resíduos Classe I – Perigosos: “aqueles que apresentam periculosidade ou características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade”
- Resíduos Classe II – Não Perigosos: são divididos em duas outras classes:
- Resíduos Classe II A – Não Inertes: “ são aqueles resíduos que não são enquadrados nem como resíduos perigosos (Classe I) e nem como resíduos inertes (Classe II B), podendo apresentar propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água”.
- Resíduos Classe II B – Inertes: “são resíduos que se amostrados de forma representativa e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se o aspecto cor, turbidez, dureza e sabor”.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabelece princípios, objetivos, metas e ações, tais como o Plano Nacional de Resíduos Sólidos – elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente, com o apoio do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) – para contemplar os diversos tipos de resíduos gerados, e buscar alternativas de gestão e gerenciamento dos mesmos. Suas propostas refletem entre os diversos setores da economia colaborando como crescimento econômico e a preservação ambiental com desenvolvimento sustentável¹.

Segundo o Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE, 2020) entre 2010 e 2019, a geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil registrou um incremento considerável, passando de 67 milhões para 79 milhões de toneladas por ano e a geração per capita aumentou de 348 kg/ano para 379 kg/ano e no estado de São Paulo, passou de 18.770.490 toneladas por ano em 2010 para 23.069 toneladas por ano em 2019. A Figura 1 trás as estatísticas de geração total e per capita de RSU no Brasil.

¹ Informação disponível em <https://museuweg.net/blog/tag/usina-waste-to-energy>.

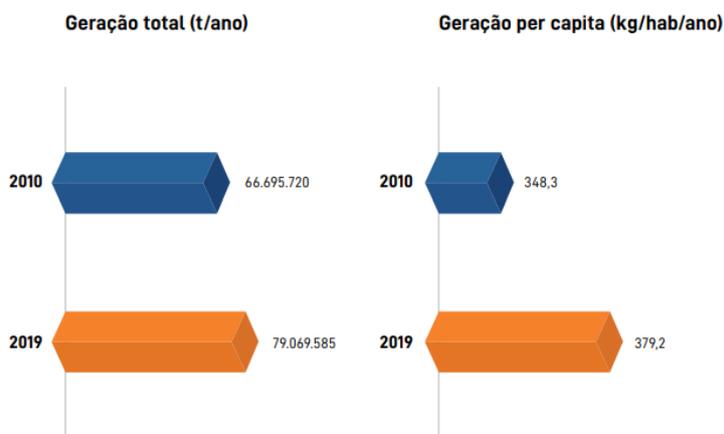


Figura 1 – Geração total e per capita de RSU no Brasil
Fonte: (ABRELPE, 2020)

Segundo Mamede (2013), existe uma variedade de processos para tratamento de resíduos sólidos, muitas delas passíveis de aproveitamento energético. Segundo os mesmos autores, as tecnologias mais utilizadas classificam-se em:

- conversão térmica (incineração, pirólise, gaseificação, produção de combustível derivado de resíduo (CDR));
- conversão bioquímica (compostagem, vermicompostagem, digestão anaeróbia);
- conversão química (transesterificação e outros processos que convertem resíduo orgânico em biodiesel).

A escolha do processo de conversão depende das características do RSM (composição e fluxo de material), a forma desejada de energia, requisitos de uso final, legislações ambientais, aspectos econômicos e fatores específicos de projeto (MAMEDE, 2013).

Antes de se tornar combustível os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) (domiciliares e industriais) e os Resíduos Industriais não perigosos (classes IIA e IIB) são submetidos a homogeneização mecânica, se tornando um combustível com tamanhos mais uniformes e com menores percentagens de umidades. São submetidos também a triagem a qual se reduz consideravelmente a quantidade de componentes nocivos, como por exemplo o cloro (Cl), potássio (K), o flúor (F) e o sódio (Na) e, evidentemente se reduz os efeitos deletérios causados por esses elementos.

Basicamente podemos dividir o processo de produção de CDR em: recepção e armazenagem, liberação e triagem, refinamento e preparação, armazenagem do produto.

O CDR pode ser obtido tanto por separação seca como por separação úmida. Na separação seca, os resíduos passam por equipamentos para serem triturados com o objetivo de uma redução no tamanho da partícula. Os materiais ferrosos são segregados por ação de potentes ímãs. Na separação úmida, os resíduos passam por tambores rotativos com orifícios de diâmetros pré-determinados. A fração dos resíduos que passa por estes orifícios são formadas basicamente por areia, terra e vidro. É adicionada a essa fração água formando uma lama que é bombeada até um equipamento denominado ciclone, que separa os materiais orgânicos dos inorgânicos. A fração inorgânica (mais pesada) é transportada até o pátio de separação de metais. A fração orgânica (mais leve) antes de serem desidratadas, são submetidas a ação de potentes ímãs. Na separação

orgânica ocorre a indesejável presença de PVC, altamente deletério a caldeiras de geração de vapor e energia.

3. Metodologia

O trabalho apresentado abordou uma pesquisa bibliográfica. Foram consultados materiais de acesso público tais como, publicações em artigos científicos, sites, revistas e livros. Também foram consultadas diversas dissertações de mestrado específicas sobre o assunto em epígrafe.

3.1. Caldeira de leito fluidizado borbulhante

Segundo a NR-13: “Caldeiras a vapor são equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia, excetuando-se os refeedores e equipamentos similares utilizados em unidades de processos”.

Segundo Kitto e Stultz (2005), os geradores de vapor, ou caldeiras, usam calor para converter água em vapor para uma variedade de aplicações. Basicamente é utilizado para a geração de energia elétrica ou aquecimento para o processo industrial. Embora se conheça uma enorme quantidade de combustíveis, os elementos mais significativos são: o carbono, hidrogênio e o enxofre, sendo este último em quantidade menores, mas o responsável por problemas de corrosão e poluição ambiental.

Para a combustão, podem ser utilizados uma gama de combustíveis, tais como carvão, gases de diversos tipos, óleos combustíveis, biomassas das mais diversas, por exemplo: bagaço de cana e laranja, capim elefante, restos de florestas, cascas de arroz, etc.

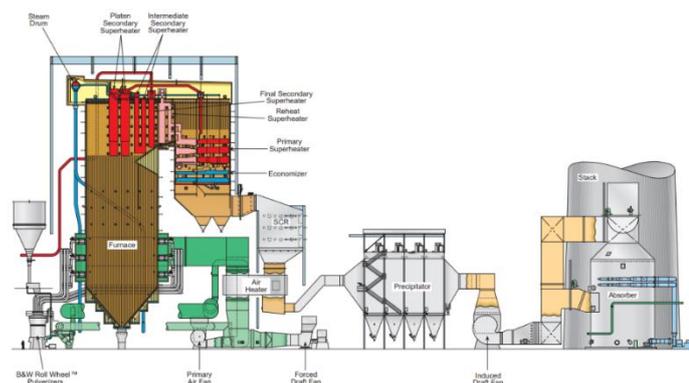


Figura 2 – Caldeira com equipamento de controle ambiental
Fonte: Kitto e Stultz (2005)

Existem diversos tipos de caldeiras (aquotubulares) sendo que, para o propósito que trata esse artigo, ou seja, a queima consorciada de CDR + bagaço de cana, a caldeira Bubbling Fluidized-Bed (BFB), numa tradução para a língua portuguesa: caldeira de leito fluidizado borbulhante, é a que mais tem mostrado resultados satisfatórios, seja pela maior facilidade de operação, seja pelo controle mais rígido das emissões de particulados para a atmosfera como também pela eficiência da própria caldeira.

O leito fluidizado borbulhante (Figura 3) possui um sistema com fundo totalmente aberto, para a retirada de elementos estranhos tais como pedras, resíduos metálicos e outros. A temperatura do leito borbulhante é controlada sem a necessidade de superfícies de troca térmica no leito e é realizada pelo controle de ar de combustão e a recirculação de gases².

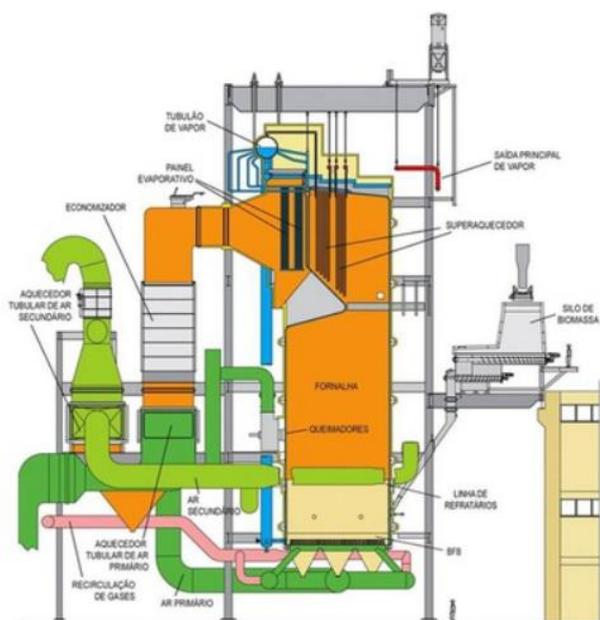


Figura 3 – Caldeira de leito fluidizado borbulhante
Fonte: HPB Energia

3.2. Problemas enfrentados na queima do RSU como único combustível e a queima consorciada do cdr ao bagaço de cana

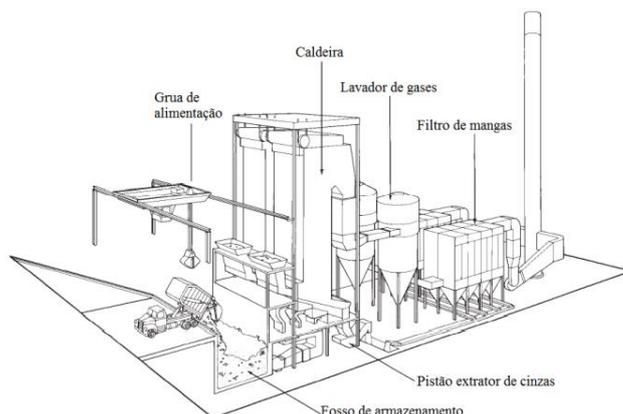
Segundo Sampaio (2014), existem dois processos distintos de preparação do RSU para que sua combustão aconteça. O primeiro processo, conhecido como “mass burning” (Figura 4) o resíduo não passa por qualquer processo de separação, tratamento ou redução

² Informação disponível em <https://www.hpb.com.br>.

no dimensionamento. O resíduo coletado pelos caminhões de lixo já é descartado em um bunker que é utilizado para queimar na caldeira.

Ainda, segundo Sampaio (2014), estas caldeiras são denominadas incineradores e antigamente, operavam em baixas temperaturas, sem controle de poluição atmosférica, e infelizmente, eram fontes potenciais de poluição.

Hoje em dia, os incineradores possuem modernos sistemas periféricos de tratamento de gases e estão adequados às exigências ambientais.



**Figura 4 – Sistema típico de queima de resíduo pelo processo “mass burning”
Fonte: Steam (2005). Adaptado por Sampaio (2014)**

A combustão de RSU traz um problema que requer um tratamento especial para viabilizar a continuidade desta combustão, a corrosão (SAMPAIO, 2014).

De acordo com Sampaio (2014), o cloro presente no RSU proveniente de tintas, corantes e materiais a base de PVC e papel branco, produz hidreto de cloro (gasoso), este produto em contato com a água reage produzindo ácido clorídrico. Ácido forte corrosivo para os olhos, pele e mucosa e também faz parte da chuva ácida.

O investimento inicial para a construção de equipamentos desse tipo é altíssimo, já que são empregados metais nobres e não comerciais e concretos refratários de última geração além dos gastos com os sistemas de tratamentos dos gases.

Uma das alternativas encontradas para a queima de resíduos foi transforma-lo em CDR e somente depois queima-lo em equipamentos mais convencionais. Mesmo assim, esses equipamentos são ainda muito mais caros do que as caldeiras atualmente utilizadas nas usinas de açúcar e álcool. Segundo Sampaio (2014), a utilização de CDR na combustão reduz as emissões de compostos nocivos a saúde, ao meio ambiente e os elementos nocivos aos equipamentos. O CDR (Figura 5) passa por diversas etapas de separação, segregação e algumas vezes separam também por densidade, retirando as impurezas do RSU e deixando apenas o material combustível, aumentando assim a eficiência de combustão.

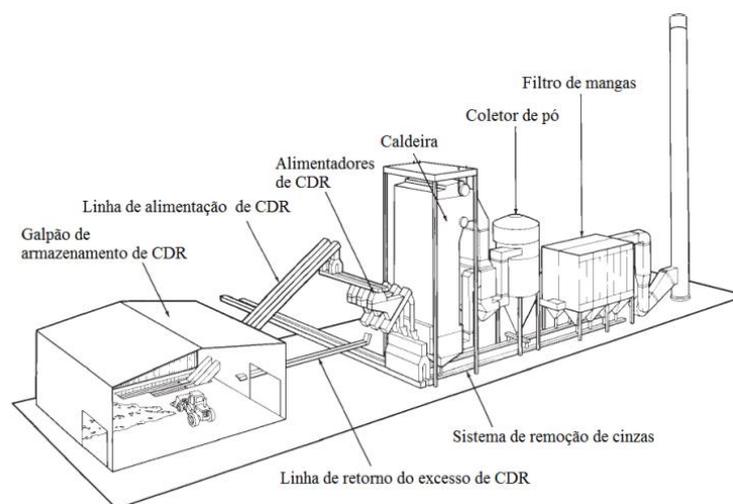


Figura 5 – Sistema típico de queima 100% CDR
Fonte: Kitto e Stultz (2005). Adaptado por Sampaio (2014)

Segundo Sampaio (2014), o CDR por ter origem nos resíduos domésticos que contém cloreto de sódio (sal de cozinha) e industriais, compostos em grande parte por PVC e outros plásticos apresenta uma quantidade de significativa de cloro na sua composição, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Quantidades de cloro específico para o bagaço e o CDR

	Bagaço	CDR
Cloro específico (mg/MJ)	14.4	239,1

Fonte: Sampaio, 2014

O Poder Calorífico Inferior (PCI) representa o calor liberado pela combustão estando toda a água resultante no estado gasoso.

A Tabela 2 apresenta os valores do PCI e teor de Cloro, para misturas de 10%, 15% e 25% de CDR no bagaço de cana.

Tabela 2 – PCI e teor de Cloro da mistura de CDR-Bagaço, em 3 cenários diferentes

	Cenário 1: 10%	Cenário 2: 15%	Cenário 3: 25%
PCI (kJ/kg)	7.277	7.435	7.750
Cloro específico (mg/MJ)	38.1	49.2	70.1

Fonte: Adaptado de Sampaio, 2014

Segundo Sampaio (2014), a utilização de misturas dos combustíveis, bagaço e CDR, deve satisfazer as condições estabelecidas em lei para os limites de poluentes atmosféricos, do solo e da água. Ainda, segundo o mesmo autor, a queima de até 10% em energia proveniente do CDR não trouxe impacto ambiental adicional ao do bagaço quer se considere atmosfera, solo ou água.

4. Resultados e discussão

Na Figura 1, comparando-se os dados do ano de 2019 aos de 2010, nota-se um incremento substancial na geração de RSU no Brasil, passando de 67 milhões para 79 milhões de toneladas por ano e um aumento na geração per capita de 248 kg/ano para 379 kg/ano. Extrapolando esse aumento para daqui 10 anos, fica notória a necessidade urgente de alternativas para a destinação do RSU às já existentes.

Fica evidente pelos dados da Tabela 1 que a quantidade de cloro específico presente no CDR é cerca de 20 maior do que a quantidade presente no bagaço, razão essa que não se deve queimar somente CDR em caldeiras projetadas para queimar bagaço de cana, o que colocaria em risco a integridade do equipamento, causando sérios prejuízos.

Analisando os dados da Tabela 2, é possível dizer que no cenário 1 as implicações negativas no equipamento são pouco significativas. O cenário 3 mostra uma quantidade muito elevada de cloro específico presente nesta porcentagem para um equipamento que não possui materiais especiais na sua composição, principalmente contra corrosões ou mesmo a própria integridade do equipamento. O cenário 2 pode ser estudado em mais profundidade e talvez mostre resultados aceitáveis.

Por se tratar de caldeiras com alto controle de emissão de particulados e ótimas performance de eficiência energética e de razoável facilidade de operação, as caldeiras de leito fluidizado borbulhante já instaladas em diversas usinas de açúcar no estado de São Paulo é a mais apropriada para a queima consorciada de CDR e bagaço de cana.

5. Considerações finais

A queima do RSU em caldeiras especiais não é um processo viável economicamente, haja vista o alto investimento do equipamento que é composto majoritariamente por materiais nobres. Apesar da queima do CDR demandar um investimento bem menor que no caso anterior, ainda assim é pouco utilizado, pelos mesmos motivos do caso anterior.

A utilização do RSU como combustível de alto valor energético não é uma novidade em várias partes do mundo, notadamente na Europa, Estados Unidos e mais recentemente na China. A utilização do CDR concomitantemente a outros tipos de combustíveis, preferencialmente a biomassa, faz todo sentido no estado de São Paulo onde encontram-se uma grande concentração de usinas de açúcar e também um grande número de municípios, conseqüentemente uma elevada oferta de RSU.

A ideia da queima consorciada CDR + bagaço de cana se mostra como o cenário ideal para aplicação no estado de São Paulo, aliviando sobremaneira os aterros que se encontram quase em colapso e a diminuição do consumo de bagaço nas usinas, conseqüentemente aumentando a produção de energia nas entresafas utilizando-se do bagaço economizado nas safras.

Evidentemente negociações e políticas públicas deverão ser demandadas afim de se estabelecer as bases de distribuições e vendas dos Resíduos Sólidos Urbanos, a partir de interesses comerciais, econômicos e políticos.

6. Referências bibliográficas

GRIPP, W.G. (1998) *Aspectos técnicos e ambientais as incineração de resíduos sólidos e urbanos*. Dissertação de mestrado em Hidráulica e Saneamento. p.209. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

KITTO, J.B., STULTZ, S.C. (2005) *STEAM its Generation and use*. Ohio: The Babcock & Wilcox Company.

Geração de energia pela queima do lixo vem avançando em todo o mundo. *Revista analytica*. Disponível em: < <https://revistaanalytica.com.br/geracao-de-energia-pela-queima-do-lixo-vem-avancando-em-todo-o-mundo/> > Acesso em 16 abril de 2021.

Governo abre caminho para geração de energia com queima do lixo. *Associação nacional dos consumidores de energia - ANACE*. Disponível em: < <http://www.anacebrasil.org.br/noticias/governo-abre-caminho-para-geracao-de-energia-com-queima-do-lixo>>. > Acesso em 16 abril de 2021.

MAMEDE, M.C. (2013) *Avaliação econômica e ambiental do aproveitamento energético de resíduos sólidos no Brasil*. Dissertação de Mestrado. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/265334/1/Mamede_MauricioCubadosSantos_M.pdf > Acesso em 05 maio de 2021.

Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020. *ABRELPE*. www.abrelpe.org.br. 5º vol.

Resíduos Sólidos Classificação – NR 1004. (2004) *Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT*. p.71. Segunda Edição. Rio de Janeiro, RJ.

SAMPAIO, R.P. (2015) *Estudo de casos dos possíveis efeitos deletérios causados pelo combustível derivado de resíduo (CDR) em caldeiras voltadas a produção de energia elétrica queimando principalmente bagaço de cana*. Dissertação de Mestrado. p. 162– UESC - USP Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18147/tde-20072015152703/publico/DISSERTACAO_REVISADA_RAQUEL_SAMPAIO.pdf > Acesso em 20 abril de 2021.