



# Usina Solar para Tratamento de Resíduos Sólidos Mediante Pirólise Induzida por Plasma

---

Gisele Fernandes, discente em engenharia civil

*Faculdades ICESP, Brasil.*

David Hudson de Souza, discente em engenharia civil

*Faculdades ICESP, Brasil.*

Nilo Serpa, físico teórico e arquiteto

*GAUGE-F Scientific Researches, Brasil; Faculdades ICESP, Brasil.*

Recebido: Novembro\_\_20\_\_ / Aceito: Dezembro\_\_02\_\_ / Publicado: Dezembro\_\_02\_\_.

**Abstract:** This project aims to implement a new form of urban waste management in the sense of non-aggressive and productive waste disposal, with minimum energy costs and high reuse of by-products. It is based on scientific principles established by thermodynamics, and by empirical disciplines that deal with properties of chemical elements and technologies for heat capture from remote sources. It is proposed to build an industrial system for recycling solid waste applying high concentration of solar radiation on a graphite container for confinement and thermal treatment of the waste. The efficiency of the system takes into account several entropy control operations.

**Key Words:** solid waste, entropy, thermodynamics, solar radiation, waste management, recycling.

## 1. Introdução

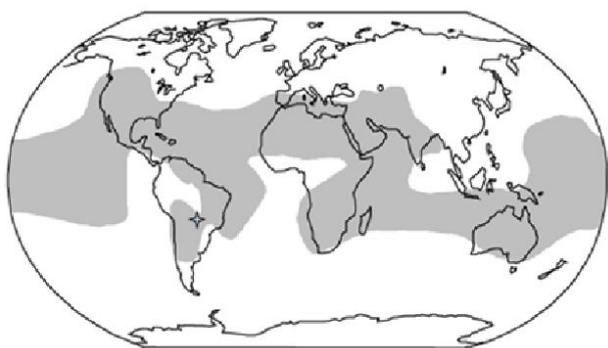
De modo geral, o manejo impróprio de resíduos sólidos gera desperdício, além de alimentar sensivelmente as desigualdades sociais e ameaçar a

saúde pública, agravando a degradação do meio-ambiente. Segundo Cordeiro e colaboradores, coletores de lixo em Juazeiro do Norte-CE informam com frequência acidentes com objetos perfuro-cortantes de origem laboratorial e hospitalar (Cordeiro et al., 2012). De acordo com estes autores, os catadores de lixo se deslocam pelos lixões pisoteando descalços tudo o que encontram pela frente inclusive seringas com agulhas. Santos observa que também em Bragança-PA um grande vazadouro a céu aberto serve de destino tanto para lixo domiciliar quanto para lixo médico-hospitalar (Santos, 2012). Martin e Mazzini relatam a gravíssima situação de crianças catadoras em Presidente Prudente-SP, abrindo

---

**Autor correspondente:** Nilo Sylvio Costa Serpa, Ph.D., Professor, áreas de pesquisa: gravitação quântica, computação quântica, cosmologia e engenharia de sistemas termodinâmicos. E-mail: [nilo.serpa@icesp.edu.br](mailto:nilo.serpa@icesp.edu.br).

sacos de resíduos médico-hospitalares a procura de borrachas de soro para estilingues, perigosamente expostas a materiais contaminados e instrumentos perfuro-cortantes (Martin e Mazzini, 2010). Diante do exposto, visto que o Brasil é um país ensolarado (Figura 1), a crença na importância cabal de um projeto de aplicação da energia solar para reciclagem de resíduos sólidos leva a uma expectativa positiva dos autores com respeito ao desenvolvimento de novas políticas para empreendimentos que girem em torno do processamento do lixo urbano, bem como ao apelo racional pela urgência das medidas sanitárias.



**Figura 1** – Mapa da faixa planetária de máxima insolação. A estrela marca a situação de Brasília.

## 2. Casuística e métodos

Propõe-se a construção de um sistema industrial (usina) para recomposição de resíduos sólidos pela alta concentração de radiação solar sobre uma câmara de grafite na qual os resíduos são confinados a vácuo. Tecnicamente, o projeto foi inspirado nas grandes plantas dos fornos solares de Odeillo na França e Physics-Sun no Uzbekistan, usados principalmente para testes de resistência dos materiais. O protótipo completo, de acordo com as primeiras simulações computacionais realizadas em Fortran e Matlab, prevê operações a temperaturas acima de 1500 °C. Semelhante engenho foi concebido sob a idéia precípua de redução da taxa de entropia global do sistema na medida em que os resíduos misturados são reciclados em matérias primas

reutilizáveis. O sistema como um todo, inclusive a central de controle computacional, opera à custa dos excedentes da própria energia solar que captura. A base teórica do projeto foi ampla e detalhadamente descrita pelo Professor Serpa em sua tese de Doutorado (Serpa, 2014), incluindo os conceitos originais de campo calórico e opacidade de uma região, a aplicação da teoria de calibre em campos clássicos e a descrição do conjunto de espelhos refletores que integram o mecanismo de captação e concentração da luz solar. Uma versão compacta pode ser encontrada em Serpa *et al.* (2016). A Figura 2 mostra esquematicamente a estrutura funcional da usina. Observe que no dispositivo de reciclagem, sob o gradiente de temperaturas  $T_1, T_2, T_3, T_4, \dots, T_n$ , são recuperados os produtos  $P_1, P_2, P_3, P_4, \dots, P_n$  das camadas mais quentes para as mais frias. Em “Operações”, um sistema de controle computacional conduz agentes catalíticos cujas ações associadas às temperaturas asseguram a saída de materiais programados e a recombinação de átomos remanescentes em substâncias inertes sob a forma de resíduos utilizáveis. Para reduzir a entropia e expandir a produtividade da geração de calor, foi introduzido um condúite auxiliar para escoamento laminar de um nanofluido termoportador. Os produtos, resíduos finais inertes e resíduos utilizáveis são enviados, respectivamente, ao inventário e à contenção apropriada.

## 3. Resultados esperados

As simulações computacionais referidas anteriormente mostraram que o concentrador solar será capaz de atingir temperaturas próximas de 1588 °C dentro da câmara de pirólise, ao contrário da grande maioria dos processos de aquecimento industrial que correm abaixo de 300 °C. Além disso, estas simulações apontaram para uma eficiência da planta entre 68,44% e 72,82% (Serpa, 2016). Estes resultados são bastante encorajadores no sentido de que vários poluentes persistentes devem ser erradicados, uma vez que a temperatura atingida está bem acima de 800 °C, muito

superior às temperaturas de formação de gases efluentes, tipicamente a 200 - 400 °C. Portanto, este projeto almeja a redução de emissões tóxicas advindas do remanejamento dos resíduos sólidos, tanto no solo quanto na atmosfera, e a reutilização de subprodutos da disrupção pirolítica de matéria. Espera-se que a usina proposta constitua modelo a ser ampliado e replicado em municípios de insolação anual expressiva, integrando políticas públicas de gestão do lixo urbano norteadas por princípios de sustentabilidade e produção mais limpa. O êxito do projeto residirá principalmente no sucesso da reconstituição pirolítica de alguns materiais a serem elencados (principalmente gases, metais, plásticos e outros), na medida em que as “cinzas” de pirólise tenham sido tornadas completamente inertes.

### 3. Conclusão

O emprego da pirólise no tratamento de resíduos sólidos, em particular do lixo médico-hospitalar, não é novidade. Queimadores pirolíticos a gás, silenciosos e com baixo índice de geração de poluentes, dotados de duplo sistema de queima (na câmara principal e na chaminé) para redução dos gases e fumaças, são hoje facilmente encontrados no mercado a custos relativamente baixos (em torno de R\$10.000,00). Entretanto, tais soluções locais, dependentes de eletricidade, devem ser consideradas parciais, pois não de adéquam à industrialização do lixo em larga escala, além de, apesar de menos poluidoras, ainda dependerem de dispositivos de escape (chaminés) que acabam retornando resíduos tóxicos ao meio-ambiente. Dessa forma, a novidade do projeto aqui discutido é a aplicação da pirólise induzida por plasma em grandes proporções de lixo, tendo for fonte de energia a luz solar e não a eletricidade, com um sofisticado suporte teórico e físico de controle da entropia. A usina pirolítica oferece saídas de envasamento dos seus próprios subprodutos residuais tornados inertes ao invés de chaminés convencionais que despejam na atmosfera as sobras não tratadas pelos queimadores. Portanto, em países de grande insolação, a

usina pretendida oferece um ganho social e econômico sem precedentes.

### Referências

- [1] Cordeiro C., Pereira P., Duarte A., Barros L., Souza M., Prejuízos Causados aos Catadores que Trabalham no Lixão do Município de Juazeiro do Norte, CE. *Enciclopédia Biosfera* 8, 2553-2562 (2012)
- [2] Martin E., Mazzini E., Disposição Final do Lixo em Presidente Prudente: De 1923 a 2010. *Revista Tópos* 4, 109-143 (2010)
- [3] Santos M., O Resíduo Sólido Urbano na Cidade de Bragança-PA: Uma Análise dos Problemas Socioambientais e os Resultados desse Processo. III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Goiânia-GO, Brasil (2012)
- [4] Serpa N., *Sur l'entropie contrôlée des systèmes* [...]. Ph.D. Thesis, L'Université Libre des Sciences de L'Homme de Paris, Sorbonne, 127p (2014)
- [5] Serpa N., Costa I., Franco Gonçalves R., *A Thermal System Based on Controlled Entropy for Treatment of Medical Waste by Solar Energy*. Springer-APMS, IFIP AICT proceedings, 12p. (2016)



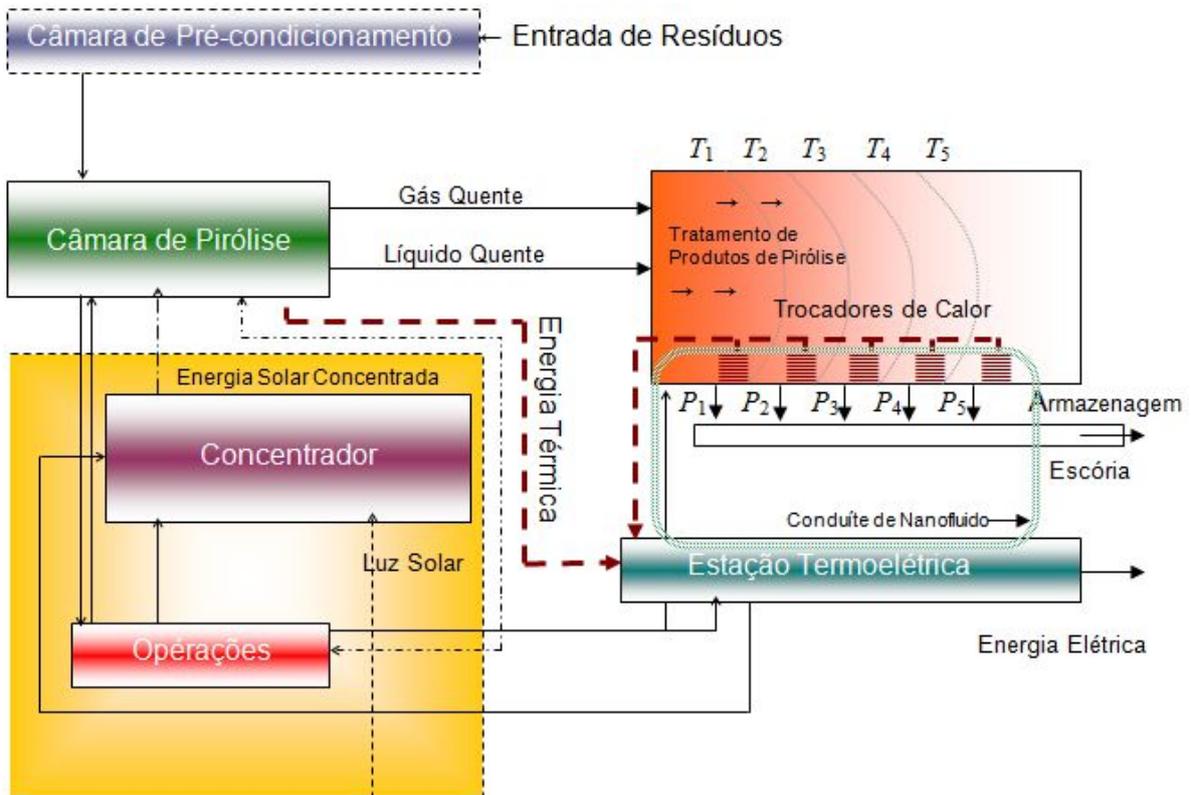


Figura 2 – Esquema da estrutura funcional da planta com os principais dispositivos.