

## HIDROGÊNIO *ELETROLÍTICO* COMO FONTE DE CALOR NO COZIMENTO DE PÃES

**Marta Ligia Pereira da Silva<sup>(1)</sup>, Hervé Michel Laborde<sup>(2)</sup>**

(1) Aluna de Graduação/UFCG/CCT/Departamento de Engenharia Química;

(2) UFCG/CCT/Departamento de Engenharia Química;

Avenida Aprígio Veloso, 882 – Bodocongó – 58.109-970 - Campina Grande – Paraíba

Fone: 83 310.1366 Fax: 83 310 1116 – e-mail:[marlipersi@yahoo.com.br](mailto:marlipersi@yahoo.com.br);

[herve@labdes.ufcg.edu.br](mailto:herve@labdes.ufcg.edu.br)

**Palavras-chave:** Hidrogênio, Eletrólise da água, Cozimento de pães.

**Área do Conhecimento:** III - Engenharias

**RESUMO:** Estudou-se o comportamento do processo de cozimento de pães em um forno alimentado por hidrogênio, produzido a partir da eletrólise da água em um reator eletrolítico. O hidrogênio produzido foi utilizado como fonte de calor, tendo sido queimado através da adaptação de um maçarico, acoplado ao forno. Verificou-se que o forno atingiu a temperatura ideal para o cozimento de pães, em torno de 250 °C e que os pães submetidos ao cozimento no forno à hidrogênio apresentaram as mesmas características sensoriais que os preparados em fornos convencionais.

### 1. Introdução

Desde o momento em que se tornou evidente que os combustíveis fósseis não eram ilimitados, e que cresceram as preocupações com meio ambiente, além da flutuação dos preços internacionais do petróleo, o interesse dos homens de ciência, responsáveis pelo planejamento do futuro da terra, voltou-se para a potencialidade energética do sistema do hidrogênio, como substituto dos combustíveis fósseis, e as pesquisas em combustíveis e fontes de energia alternativos vêm crescendo em ritmo acelerado mundo afora [Momirlan and .Veziroglu, 2002].

O hidrogênio é um composto com grande capacidade de armazenar energia, e por este motivo seu uso como fonte renovável de energia elétrica e combustível vem sendo amplamente pesquisado.

Embora não seja uma fonte primária, o hidrogênio se constitui em uma forma

conveniente e flexível de uso final de energia, pois pode ser obtido de diversas fontes energéticas (petróleo, gás natural, eletricidade, energia solar, energia eólica) [Dunn, 2002] e sua combustão é não poluente (o único produto da combustão é água em forma de vapor).

O uso do hidrogênio como combustível está avançando rapidamente, havendo vários protótipos de carros nos países desenvolvidos que são movidos a hidrogênio, que gera eletricidade, e descarregam água em seus escapamentos. Calcula-se que já na próxima década existirão modelos comerciais de automóveis elétricos, cujo combustível será o hidrogênio, líquido ou gás.

### 2. Revisão Bibliográfica

#### 2.1 Hidrogênio

A descoberta do gás hidrogênio surgiu das dúvidas dos cientistas e dos filósofos de que a água e o oxigênio eram elementos

básicos. O hidrogênio foi inicialmente identificado pelo cientista britânico H. Cavendish que mostrou a Sociedade Real de Londres em 1766 que havia diferentes tipos de ar: o “ar estável”, ou gás carbônico e o “ar inflamável” ou hidrogênio. Ele também demonstrou que o hidrogênio era muito mais leve do que o ar e foi o primeiro a produzir água a partir de hidrogênio e oxigênio, e de uma faísca elétrica.

O químico francês A.L. Lavoisier repetiu os experimentos de Cavendish, e depois de várias tentativas conseguiu combinar hidrogênio e oxigênio para formar água. Os seus experimentos de 1785 foram considerados definitivos em provar que o hidrogênio e o oxigênio eram os elementos básicos da água. Lavoisier foi o primeiro a consignar estes nomes para os dois elementos.

Durante o século XIX, as características e usos potenciais do hidrogênio foram discutidos por homens da Igreja, cientistas, e escritores de ficção-científica. Em um dos mais famosos exemplos, um engenheiro, no livro de Jules Verne “A ilha misteriosa” em 1874, falou para os seus colegas: “sim, meus amigos, acredito que a água será, um dia, usada como combustível, que os constituintes, o hidrogênio e o oxigênio, junto ou separadamente fornecerão uma fonte inesgotável de calor e luz, de uma intensidade nunca atingida pelo carvão. (...) A água será o carvão do futuro”.

O hidrogênio, um dos elementos básicos da natureza, é o elemento mais simples do universo, com cada átomo constituído de apenas um próton e um elétron. O hidrogênio é o elemento mais abundante do universo, contando com mais de 90 % do universo conhecido. Mais de 30 % da massa do sol é hidrogênio atômico [Lee, 1996].

## 2.2 A Produção de Hidrogênio

De acordo com o Departamento de Energia dos Estados Unidos, cerca de 400 bilhões de metros cúbicos de hidrogênio são produzidos a cada ano no mundo inteiro, com mais ou menos 20 % deste total produzido nos Estados Unidos. Isto equivale a 360 milhões de toneladas de petróleo, ou apenas

10 % da produção mundial de petróleo de 1999. A maioria do hidrogênio é, hoje, produzido nas refinarias de petróleo ou nas indústrias químicas, pelo processo de reforma a vapor do gás natural. O hidrogênio é usualmente consumido no lugar onde é produzido. É predominantemente usado como reagentes na refinação do petróleo, e na manufatura de fertilizante (amônia), plásticos, solventes, e outras mercadorias industriais. Somente 5 % do hidrogênio produzido é vendido e entregue como líquido ou gás por caminhão ou gasoduto [Dunn, 2002].

A reforma a vapor do metano é o mais comum e o método menos caro de produzir hidrogênio hoje em dia. Este processo utiliza energia térmica para separar o hidrogênio do carbono no metano ou metanol, e envolve a reação destes combustíveis com vapor em superfícies catalíticas. O primeiro passo da reação decompõe o combustível em água e monóxido de carbono (CO). Então, uma reação posterior transforma o monóxido de carbono e a água em dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e hidrogênio. Estas reações ocorrem sob temperaturas de 200 °C ou maiores. [Appleby and Foulkes, 1993].

O método mais promissor de produção de hidrogênio é a eletrólise, que envolve o uso de eletricidade para decompor a água em hidrogênio e oxigênio. Atualmente, aproximadamente 4 % do hidrogênio é produzido pela eletrólise da água [Dunn, 2002].

## 2.3. A História do Pão

O pão é um alimento que resulta do cozimento de uma massa feita com farinha de certos cereais, principalmente trigo, água e sal.

Seu uso na alimentação humana é antiquíssimo. Pelas informações que se têm, a história mais remota do pão se origina em milhares de anos a.C., quando era feito com glandes de carvalho e faia trituradas, sendo depois lavado com água fervente para tirar o amargor. Em seguida, essa massa era seca ao sol, e se faziam broas com a farinha.

Conta ainda a história que, antes de servirem para fazer pão, as farinhas, de diversos cereais, eram usadas em sopas e mingaus. Posteriormente se passou a

misturar nas farinhas mel, azeite doce, mosto de uva, tâmaras esmagadas, ovos e carne moída, formando-se espécies de bolos, que teriam precedido o pão propriamente dito. Esses bolos eram cozidos sobre pedras quentes ou sob cinzas.

Os primeiros pães foram assados sobre pedras quentes ou debaixo de cinzas, datando do VII milênio a.C. a utilização de fornos de barro para cozimento de pães. ([www.moinhosulmineiro.com.br/pao.htm](http://www.moinhosulmineiro.com.br/pao.htm) em 23/01/2003 às 13:50h).

#### 2.4. A Eletrólise da Água

É uma reação de decomposição de substâncias por efeito de uma corrente elétrica. Tal reação se processa a temperatura e pressão constantes em um reator denominado célula eletrolítica [Pletcher, 1993].

A produção de hidrogênio pela eletrólise da água é, em princípio, muito simples. Uma célula eletrolítica básica é constituída de um par de eletrodos imersos em um eletrólito condutor dissolvido em água. A corrente elétrica passa através da célula de um eletrodo para o outro e o hidrogênio é produzido em um eletrodo (cátodo) e o oxigênio no outro eletrodo (ânodo). A reação de decomposição da água é uma reação endotérmica, [Bockris, 1976]:



O objetivo de nosso trabalho é estudar a utilização do hidrogênio produzido a partir da eletrólise da água como combustível ecológico para fornos de padaria.

#### 3. Metodologia

O hidrogênio é produzido num eletrolisador de tipo bipolar, composto por um reator de 47 células ligadas em série, cada uma operando sob uma diferença de potencial de 1,85 volts.

A energia utilizada neste processo é a da rede elétrica normal.

Os pães são assados em um forno adaptado de uma mufla de volume interno de 14 litros, onde o maçarico, que queima hidrogênio e oxigênio, está conectado ao mesmo através de um orifício na parte traseira.

A temperatura do forno é controlada através da vazão de saída dos gases no bico do maçarico.

Após o pré-aquecimento do forno os pães são inseridos no mesmo para efeito de cozimento.

#### 4. Resultados e Discussões

As figuras 01 a 03 mostram os perfis de temperatura do forno e da chaminé, obtidos durante os ensaios de cozimento de massas, realizados no Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES/SRH/MMA).

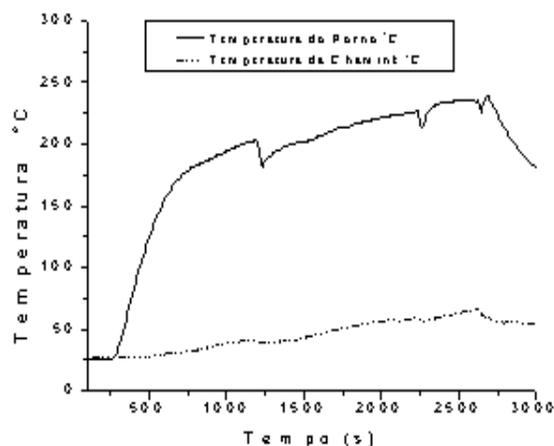


Figura 01 – Perfis de temperatura do forno e da chaminé.

Pode-se observar na figura 01 que a temperatura do forno se eleva rapidamente, com uma taxa média de 22,5 °C/min durante os 10 primeiros minutos, até atingir uma temperatura média de cerca de 200 °C, quando então começa a se estabilizar, atingindo uma temperatura de 250 °C após 40 minutos, temperatura ideal para o cozimento de massas. Verifica-se também variações no perfil de temperatura, ocasionadas pela abertura do forno para inserir o pão, e verificar o andamento do processo de cozimento. A queda final da temperatura se deve ao desligamento do sistema de aquecimento, após o completo cozimento dos pães.

Em relação ao perfil de temperatura da chaminé, o mesmo se apresenta de forma

semelhante ao do forno, atingindo um máximo de temperatura em torno de 60 °C.

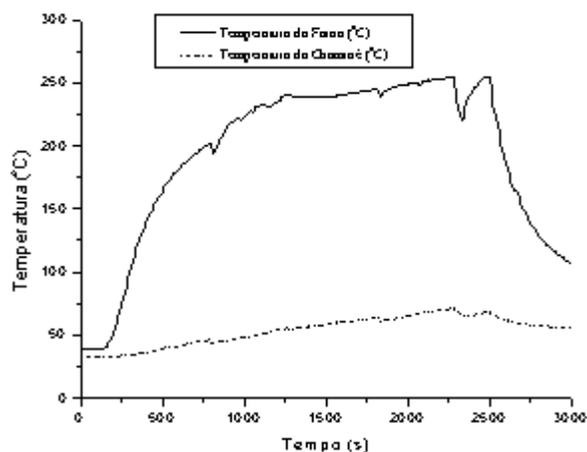


Figura 02 – Perfis de temperatura do forno e da chaminé.

Observa-se na figura 02 que a taxa de aquecimento inicial do forno é da ordem de 20,2 °C/min, atingindo uma temperatura média de cerca de 200 °C, quando então começa a se estabilizar, até alcançar o ponto ótimo para o cozimento de pães em torno de 250 °C. A presença de picos negativos na curva se deve à abertura do forno, quando foi inserido o pão, e também nos momentos de verificação do ponto de cozimento.

Verifica-se um comportamento semelhante ao perfil de temperatura do forno quando analisamos os dados de temperatura da chaminé, sendo que esta atinge uma temperatura máxima de cerca de 60 °C.

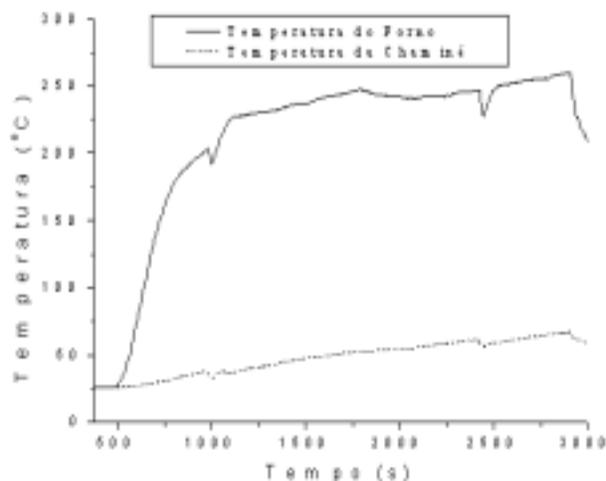


Figura 03 – Perfis de temperatura do forno e da chaminé

Observa-se na figura 03 um comportamento semelhante aos demais, tanto para o perfil de temperatura do forno, quanto para o da chaminé, onde a temperatura de operação se concentra em torno de 250 °C com uma taxa de aquecimento inicial da ordem de 30,8 °C/min, e a temperatura da chaminé em torno de 60 °C, mostrando a reprodutibilidade dos ensaios.

## 5. Conclusões

A partir dos resultados obtidos com os ensaios de cozimento de massas conclui-se que há uma reprodutibilidade nos experimentos, sendo que após o período inicial de aquecimento, a temperatura do forno tende a estabilidade, atingindo a temperatura ideal para o cozimento de pães, em torno de 250 °C.

Com relação aos pães submetidos ao cozimento, apresentam as mesmas características sensoriais dos assados em fornos convencionais, sendo o tempo de cozimento no forno a hidrogênio um pouco menor.

## 6. Referências Bibliográficas

Appleby, A.J. and Foulkes, F.R., Fuel Cell Handbook: Kriega Publishing Company, Malabar, Flórida, USA., 1993.

Bockris, J. O .M., Energy, The Solar - Hydrogen Alternative, The Architectural Press Ltd., London, 1976.

Dunn, S., Hydrogen futures: toward a sustainable energy system, International Journal of Hydrogen Energy, 27, 235, 2002.

Lee, J.D., Química inorgânica não tão concisa, 4ª ed., Editora Edgard Blucher Ltda., p.103-115, 1996.

Momirlan, M. and Veziroglu, T.N., Current status of hydrogen energy, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 6, 141, 2002.

Pletcher, D. and Walsh, F.C., *Industrial*



*Electrochemistry*, Blackie Academic & Professional (Ed.), p.256-268, 1993.

