



ULTRAGAZ

especialista no que faz

PRÊMIO GLP DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA

*** Edição 2011 ***

PARTICIPANTE: CIA. ULTRAGAZ S. A.

CATEGORIA: APLICAÇÕES DO GLP

TÍTULO:

MISTURAS GLP - HIDROGÊNIO



PRÊMIO GLP DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA

* Edição 2011 *

PARTICIPANTE: CIA. ULTRAGAZ S.A.
CATEGORIA: APLICAÇÕES DO GLP
TÍTULO: MISTURAS GLP – HIDROGÊNIO
AUTORES: Fernando Cörner da Costa ⁽¹⁾
Denis Pinto Monteiro ⁽²⁾
Marcelo Cesar Palmieri ⁽³⁾

- (1) Eng. Mecânico (PUC-RJ), Eng. de Segurança do Trabalho (UERJ), M.Sc. em Proc. Químicos e Bioquímicos (Mauá), Professor do IBP, Consultor do Canal Empresarial da ULTRAGAZ.
- (2) Eng. de Produção – Mecânico, Pós-Grad. em Adm. da Produção, Skill, Tools & Competencies (Kellog), MBA em Adm. de Varejo (FGV), Gerente do Canal Empresarial da ULTRAGAZ.
- (3) Eng. Mecânico, Pós-Grad. em Gestão Empresarial, MBA em Adm. e Logística (FGV), Especialista em Energia (UNIFEI), Coordenador do Canal Empresarial da ULTRAGAZ.
-

ABSTRACT

This paper deals with the LPG - Hydrogen blends and its possibilities within industrial applications. The main targets of the blends is to enhance some characteristics of the LPG, as flame speed and heat concentration, in order to optimize its performance in industrial processes or reduce the hydrogen costs. Some significant improvements were attained from the first trials in the glass industry and thermal spraying processes for metallization. Besides technical results, it is also possible to reduce fuel costs in the processes which fire pure hydrogen. Depending on the hydrogen production process, this practice could also reduce the carbon footprint.

RESUMO

Este trabalho lida com as misturas GLP – Hidrogênio e suas possibilidades na área de aplicações industriais. Os principais alvos das misturas é melhorar algumas características do GLP, como velocidade de chama e concentração de calor, a fim de otimizar seu desempenho em processos industriais ou reduzir o custo do hidrogênio. Alguns aperfeiçoamentos significativos foram obtidos nos primeiros testes na indústria de vidro e nos processos de *spray* térmico para metalização. Além dos resultados técnicos, é também possível reduzir os custos de combustível nos processos que queimam hidrogênio puro. Dependendo do processo de obtenção do hidrogênio, esta prática pode também reduzir a pegada de carbono.

1. BREVE HISTÓRICO DA EMPRESA

A CIA. ULTRAGAZ S.A. é a distribuidora pioneira de GLP no Brasil, tendo sido fundada em 1936 pelo Sr. Ernesto Igel. Há mais de 70 anos distribui gás de cozinha para quase todo o País. Atualmente, atende 40 milhões de consumidores finais e aproximadamente 40 mil clientes empresariais, o que faz da Companhia uma líder na venda de GLP no mercado nacional. No mês de agosto de 2011, foi instituído um novo recorde de vendas por esta empresa, em um único mês, atingindo a expressiva marca de 157.700 toneladas de gás.

A ULTRAGAZ pertence ao GRUPO ULTRA, cuja holding é a ULTRAPAR, a qual obteve uma receita líquida consolidada superior a 42 bilhões de reais em 2010.

A ULTRAGAZ comercializa, em média, sete milhões de botijões de gás por mês. O faturamento é de R\$ 4 bilhões por ano, estando entre as seis maiores empresas distribuidoras independentes de GLP do mundo.

Com uma enorme infra-estrutura, a Companhia possui 15 Bases de Envasamento e 22 Bases de Armazenamento e Distribuição do gás liquefeito de petróleo.

Com relação aos recursos humanos, a ULTRAGAZ conta com cerca de 4 mil funcionários, espalhados por 43 lojas próprias, Matriz e Filiais, 4.200 Revendas e uma frota superior a 2.000 veículos próprios.

2. MOTIVAÇÃO PARA ESTE DESENVOLVIMENTO

A motivação para desenvolvimento deste projeto se originou de demandas oriundas de processos industriais específicos, impostas pelo mercado, onde as soluções convencionais não lograram êxito considerando os aspectos técnicos e econômicos, tanto juntos como isoladamente.

A primeira demanda tem sua origem na indústria de vidro, onde as aplicações convencionais de gases combustíveis nos processos de acabamento pós-moldagem não conseguem atingir os resultados esperados. A alternativa da utilização não convencional de queimadores hidrogênio-oxigênio costuma apresentar resultados ótimos sob o ponto de vista técnico, porém de difícil viabilidade econômica. As misturas GLP – hidrogênio tem a possibilidade de cumprir simultaneamente ambas as metas de viabilidade técnica e econômica, de acordo com os preceitos desenvolvidos por este trabalho.

A segunda demanda surgiu no processo conhecido por metalização, que consiste na aplicação de revestimento metálico em camadas sobre bases metálicas (superfícies previamente preparadas), tanto novas como usadas. Esta filosofia de se revestir uma superfície metálica é um processo antigo, tendo se iniciado na década de 1920 segundo LIMA (1998). Os objetivos do revestimento são a reposição do material desgastado ou a adição de outro material para proporcionar propriedades específicas como resistência ao desgaste e ao calor, entre muitas outras. Atualmente, os processos tradicionais de soldagem a arco elétrico estão sendo preteridos em benefício dos processos de aspersão térmica, onde são utilizados gases combustíveis como acetileno, hidrogênio e gases liquefeitos do petróleo.

Assim, para atender a essas e outras demandas, este trabalho desenvolverá os fundamentos para o emprego de GLP ou propano especial misturado com hidrogênio.

3. GASES COMBUSTÍVEIS

Este trabalho baseia-se nas propriedades físicas e químicas do GLP, do propano especial e do hidrogênio, de forma a atender algumas demandas específicas do mercado. Como o acetileno é um gás também utilizado pelas indústrias nesta

aplicação, suas informações estão sendo apresentadas caso necessário fazer alguma eventual comparação.

As definições dos gases combustíveis envolvidos são as seguintes:

1. GLP: é o gás liquefeito de petróleo mais comercializado no Brasil, sendo uma mistura de hidrocarbonetos contendo predominantemente, em percentagens variáveis, propano e/ou propeno e butano e/ou buteno (ANP, 2004).
2. Propano especial: é também um gás liquefeito de petróleo, constituído por uma mistura de hidrocarbonetos contendo no mínimo 90% de propano e no máximo 5% de propeno, em volume (ANP, 2004).
3. Hidrogênio: é um gás combustível produzido por eletrólise da água, reforma a vapor de hidrocarbonetos ou oxidação parcial de carvão ou hidrocarbonetos; pode também ser obtido como subproduto de processo químico, após processamento de purificação (AHLBERG, 1985)
4. Acetileno: é um gás combustível produzido através da reação de carbureto de cálcio com água; o acetileno normalmente vendido (grau comercial) apresenta traços de fosfina, arsina, sulfeto de hidrogênio e amônia (AHLBERG, 1985).

O primeiro questionamento poderia ser quanto à estabilidade da mistura, mas não há nenhuma reação física nem química que pudesse impedir a utilização do GLP ou do propano especial com o hidrogênio, misturados em quaisquer proporções. Uma vez misturados, os gases se mantêm homogêneos apesar da grande diferença de densidade entre eles, conforme indicado pela TABELA 1.

TABELA 1. Densidades absoluta e relativa

GASES COMBUSTÍVEIS	DENSIDADE ABSOLUTA (kg/m ³ @ 1 atm abs)		DENSIDADE RELATIVA (D _{REL}) (ar = 1.00)
	@ 0°C	@ 15°C	
GLP (*)	2,350	2,215	1,83
Propano	2,013	1,901	1,57
Hidrogênio	0,090	0,085	0,07
Acetileno	1,172	1,109	0,91

Observação:

(*) fase vapor, composição: 50% propano + 50% n-butano

Fonte: AHLBERG, 1985

As principais propriedades das misturas de gases combustíveis, como poderes caloríficos, densidades, índices de Wobbe e velocidades de chama variam de acordo com as proporções entre os componentes, mantendo de certa forma valores proporcionais à participação de cada gás. Apesar da grande diferença entre os poderes caloríficos do GLP e do hidrogênio em base volumétrica, cerca de nove vezes, o fluxo térmico através dos queimadores destes gases é proporcional ao Índice de Wobbe da mistura, variando quase duas vezes, considerando-se o mesmo queimador em idêntica pressão de trabalho. Assim, a mistura GLP – hidrogênio não apresenta comportamento crítico no caso de ocorrerem pequenas variações nas proporções estabelecidas para a mistura ideal, particular a cada processo.

A TABELA 2 permite a comparação entre os poderes caloríficos superiores e os Índices de Wobbe dos gases combustíveis envolvidos.

TABELA 2. Poderes Caloríficos Superiores (PCS) e Índices de Wobbe (IW).

GASES COMBUSTÍVEIS	PCS (kcal/Nm ³)	IW (*) (kcal/Nm ³)
GLP	28.050	20.735
Propano	24.200	19.314
Hidrogênio	3.050	11.528
Acetileno	14.100	14.781

Observação: $WI = PCS \times D_{REL}^{-0.5}$
 D_{REL} : densidade relativa (TABELA 1)

Fonte: JENKIN, 1962

4. MISTURAS GLP - HIDROGÊNIO

A idéia de se misturar hidrogênio ao GLP surgiu a partir da inviabilidade econômica da queima hidrogênio-oxigênio em experiências de polimento superficial em pequenas embalagens de vidro para perfumaria e cosméticos, realizadas em uma fábrica de vidro na Grande São Paulo. Embora as referidas experiências tenham sido um sucesso sob o aspecto técnico, não houve viabilidade econômica devido ao elevado custo do hidrogênio, apesar do valor agregado que poderia ser admitido nas referidas embalagens.

Esta inviabilidade econômica levou à reflexão sobre a real necessidade de se utilizar toda a energia necessária ao processo oriunda exclusivamente do hidrogênio.

A necessidade do uso de hidrogênio, premissa básica para as citadas experiências, prende-se ao fato da elevada velocidade de chama, característica exclusiva deste gás. Surgiu então a idéia da mistura GLP – hidrogênio, de forma a aumentar a velocidade de chama do GLP, baixando-se o baixo custo total da energia fornecida pela mistura.

A TABELA 3 indica a velocidade máxima de chama dos gases combustíveis envolvidos neste estudo, em condição de escoamento laminar, para queima com ar e com oxigênio. Assim torna-se clara o motivo do uso de oxigênio como comburente, que é a elevação da velocidade da chama.

TABELA 3. Velocidade máxima de chama dos gases combustíveis.

GASES COMBUSTÍVEIS	VELOCIDADE MÁXIMA DE CHAMA (m/s)	
	EM AR	EM OXIGÊNIO
GLP	0,35 – 0,50	3,3 – 3,9
Propano	0,45 – 0,50	3,3 – 3,9
Acetileno	1,46	7,6
Hidrogênio	2,66	14,35

Fonte: KRONA (website)

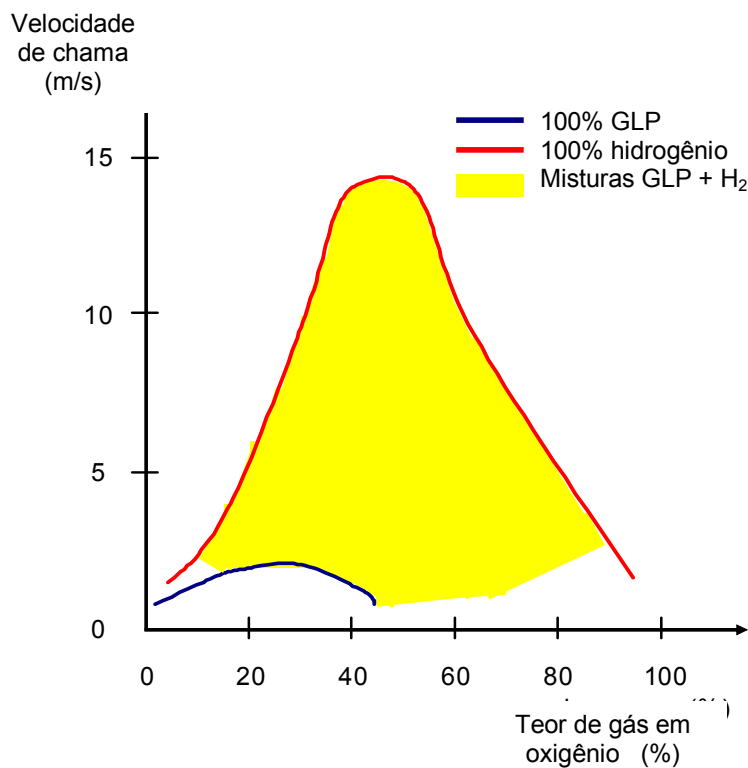
O acetileno, como mostra a TABELA 3, é um gás combustível que também apresenta velocidades de chama superiores às dos gases liquefeitos de petróleo. Porém, de acordo com GAMA GASES (website), as restrições técnicas à sua utilização são devidas a diversas características como instabilidade do gás, que pode entrar em decomposição explosiva mesmo na ausência de oxigênio, sensibilidade ao choque no estado líquido e limitação na pressão de transmissão (máximo recomendado 1,0 bar g). Além disso, existem os fatores de custo elevado, tanto do produto como de sua logística.

As velocidades de chama para os gases liquefeitos do petróleo, hidrogênio e suas misturas, queimando com oxigênio, são mostradas no gráfico da FIGURA 1.

Assim, para cada processo, foram desenvolvidos ensaios para determinação do mais baixo teor de hidrogênio na mistura, de forma que a velocidade de chama possibilitasse a obtenção dos resultados esperados, minimizando assim os custos do processo.

As misturas GLP – hidrogênio devem ainda ser analisadas sob o ponto-de-vista da segurança. Embora não haja reatividade entre estes dois gases, suas misturas podem apresentar um amplo campo de inflamabilidade devido às características de cada componente.

FIGURA 1. Velocidades de chama do GLP, hidrogênio e suas misturas.



Fonte: COSTA (2010)

Enquanto os gases liquefeitos do petróleo apresentam um campo restrito, o hidrogênio possui uma faixa ampla, tanto considerando os comportamentos com ar como com oxigênio puro, conforme indicado pela TABELA 4.

TABELA 4. Campos de inflamabilidade dos gases combustíveis.

GASES COMBUSTÍVEIS	CAMPO DE INFLAMABILIDADE (%)	
	AR SECO	OXIGÊNIO PURO
Propano	2,8 – 9,5	2,3 – 45
Butano	1,8 – 8,4	1,8 – 40
GLP	2 – 9 (*)	2 – 45 (*)
Hidrogênio	4 – 75	4 - 94

Fonte: KRONA (website)

OBS.:

(*) Os valores indicados para o campo de inflamabilidade do GLP levaram em conta as variações na sua composição média, levando-se em conta seus componentes principais, ou seja, propano e butano.

Assim, na medida em que aumenta a percentagem de hidrogênio na mistura com GLP, o campo de inflamabilidade apresentará uma faixa mais ampla, exigindo a instalação de dispositivos de segurança contra o retrocesso de chama. Tais procedimentos tornam-se ainda mais importantes devido ao fato de que a mistura GLP – hidrogênio alimentará queimadores a oxigênio, potencializando tais riscos, pois o objetivo a ser alcançado é a elevada velocidade de chama.

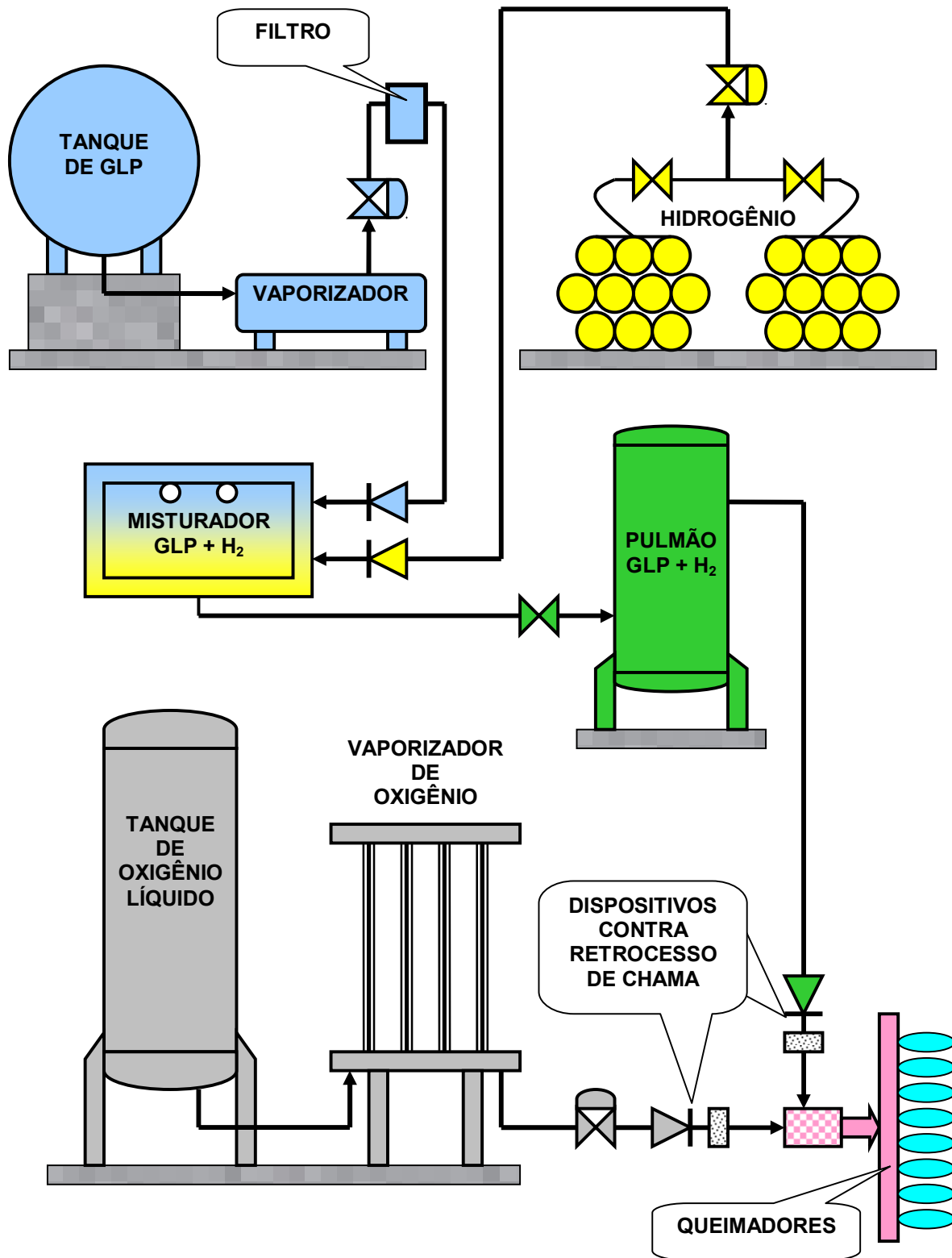
5. SISTEMAS PARA MISTURA GLP – HIDROGÊNIO

A FIGURA 2 mostra a configuração típica de um sistema para mistura GLP – hidrogênio e queima com oxigênio, desde a armazenagem dos gases até o sistema de queima.

O GLP armazenado em fase líquida é vaporizado, filtrado e tem sua pressão regulada para alimentar o misturador. Já o hidrogênio é usualmente armazenado em fase gasosa em cilindros de alta pressão (200 – 220 bar) e tem sua pressão também reduzida na entrada do misturador. O misturador Witt é um equipamento auto-proporcionador que opera segundo princípio pneumático, possibilitando o estabelecimento da mistura em uma ampla faixa de proporções e de vazões, sendo um dispositivo de fácil manuseio e manutenção.

A mistura é então armazenada em um tanque pulmão para estabilizar a pressão e garantir a homogeneidade. Após este pulmão, a mistura GLP – hidrogênio alimenta os queimadores.

FIGURA 2. Configuração típica.



Como se trata de uma oxi-queima, torna-se necessário o fornecimento de oxigênio, que pode ser feito por cilindros de alta pressão em fase gasosa ou através de tanque criogênico, onde o oxigênio encontra-se na fase líquida a 183°C negativos. Este gás sai do tanque na fase líquida e passa para a fase gasosa em vaporizadores do tipo atmosférico, sendo então regulada sua pressão para alimentar os queimadores.

A grande maioria dos equipamentos destinados à queima da mistura GLP – hidrogênio são queimadores especialmente destinados a este propósito. Dependendo das condições de trabalho, pode ser exigida a refrigeração destes queimadores através de fluxo de água.

É recomendável que o comissionamento destes sistemas seja feito após a pré-purga com gás inerte, geralmente nitrogênio.

6. APLICAÇÃO NOS PROCESSOS DE METALIZAÇÃO

A tecnologia da metalização de superfícies atende a uma ampla gama de setores como: aeroespacial, automobilístico, petróleo e gás, papel e celulose, têxtil, eletroeletrônico, siderúrgico, metalúrgico, vidreiro etc.

As finalidades a serem obtidas com a aplicação dos revestimentos visam dotar as superfícies das mais diversas propriedades, a saber:

- aumentar a resistência ao desgaste, à corrosão e ao calor;
- texturizar a superfície;
- elevar a condutividade ou a resistividade elétrica;
- formar barreira térmica;
- adquirir propriedades catalíticas;
- restaurar dimensões.

Os processos tradicionais para aplicação de revestimento por soldagem, segundo LIMA (1998), são os seguintes: oxi-combustível (*OFW – oxy-fuel welding*); arco elétrico com proteção gasosa (*GMAW – gas metal arc welding*), arco tungstênio com proteção gasosa (*GTAW – gas tungsten arc welding*), arco elétrico com eletrodo revestido (*SMAW – shielded metal arc welding*) e arco elétrico com arame tubular (*FCAW – flux-cored arc welding*).

Com o passar do tempo, vem se apresentando a tendência da substituição da aplicação por soldagem pelos processos de aspersão térmica, que se resumem na projeção de micro partículas de ligas metálicas, obtidas a partir da fusão de arame ou alimentação sob a forma de pós, utilizando energia térmica e um meio gasoso de propulsão. Essas partículas, fundidas ou amolecidas, impactam e aderem na superfície que está sendo revestida.

Os principais processos de aspersão térmica são:

- processo de baixa velocidade (*LVOF – low velocity oxygen fuel*)
- processo de alta velocidade (*HVOF – high velocity oxygen fuel*)
- plasma com arco transferido (*PTA – plasma transferred arc*)
- arco-arame (*Arc Spray*)

Os dois primeiros processos, *LVOF* e *HVOF*, utilizam-se da queima de combustíveis com oxigênio enquadrando-se no tema deste trabalho.

A TABELA 5 mostra um comparativo entre os diversos processos de aspersão térmica, onde se destaca o processo *HVOF* pelas características obtidas no revestimento, como consequência das elevadas velocidades atingidas pelas partículas.

TABELA 5. Comparação dos processos de aspersão térmica e características do revestimento.

Processo	Velocidade da partícula (m/s)	Aderência (MPa)	Óxido contido no metal (%)	Porosidade (%)	Taxa de deposição (kg/h)	Espessura típica de depósito (mm)
<i>LVOF</i>	40	< 8	10 - 15	10 - 15	1 - 10	0,2 - 10
Arco	100	10 - 30	10 - 20	5 - 10	6 - 60	0,2 - 10
Plasma	200 - 300	20 - 70	1 - 3	5 - 10	1 - 5	0,2 - 2
<i>HVOF</i>	600 - 1000	> 70	1 - 2	1 - 2	1 - 5	0,2 - 2

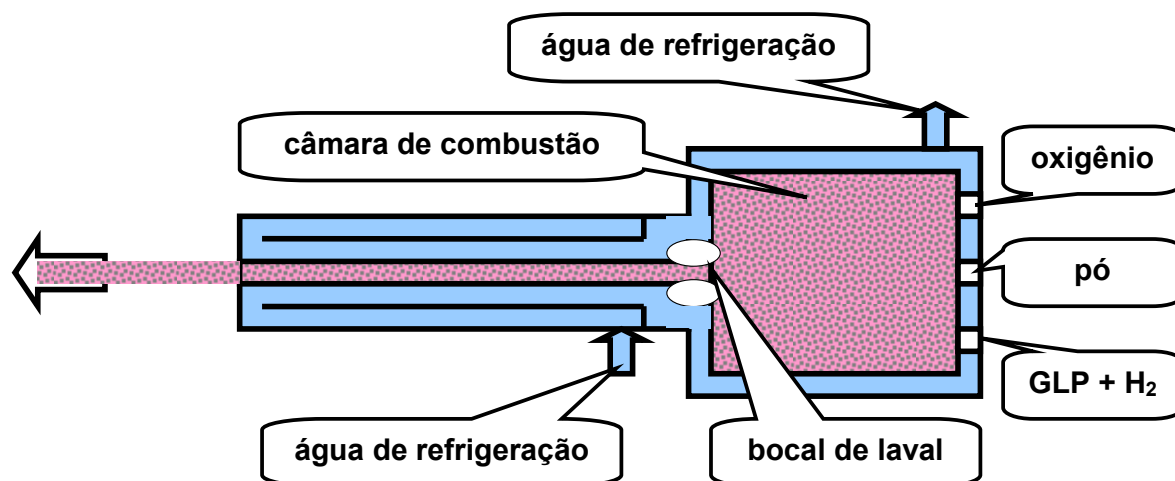
Fonte: HALLDEARN, 2008.

Para o desenvolvimento das velocidades extremamente elevadas do processo *HVOF* na projeção das partículas é necessário que a queima se processe em uma câmara de combustão parcialmente fechada, refrigerada a água, com a saída dotada de um bocal de laval acoplado a um tubo direcionador, de forma a linearizar o fluxo, como indicado na FIGURA 3.

A aplicação da mistura GLP – hidrogênio no processo de metalização se mostrou vantajosa nos processos que utilizavam hidrogênio puro, possibilitando obter os resultados técnicos esperados pelo aumento da velocidade devido à adição de hidrogênio, e reduzindo custos pela participação do GLP. Em alguns casos é indicada a utilização de propano especial em substituição ao GLP na mistura com hidrogênio, para manter mais estável a estequiometria da combustão.

Considerando os principais fatores que afetam a ancoragem e a deposição dos revestimentos, como limpeza, geometria, reações físico-químicas, energia térmica (temperatura) e energia cinética (velocidade de projeção), as misturas GLP – hidrogênio destacam-se por colaborar significativamente com os dois últimos fatores para a melhoria, eficiência e qualidade do processo.

FIGURA 3. Esquema do processo HVOF.



7. APLICAÇÃO NOS PROCESSOS DE VIDRO

Os processos de moldagem de peças de vidro, usualmente moldagem por sopro ou em prensas, geram defeitos superficiais que podem ser agrupados em defeitos macroscópicos e microscópicos.

Segundo COSTA (2010), os defeitos macroscópicos mais comuns são as linhas de fechamento dos moldes e ângulos agudos, desvalorizando as peças e dificultando sua utilização. Já os defeitos microscópicos seriam rugosidades e trincas microscópicas, os quais podem afetar a transparência, o brilho e as propriedades mecânicas das peças. O objetivo do acabamento a chama é reduzir ou eliminar estes defeitos. Além disso, a resistência química do vidro pode ser aumentada na medida em que íons alcalinos sejam volatilizados pela chama, tornando a superfície da peça de vidro mais rica em sílica.

O acabamento a chama é realizado imediatamente após a moldagem, com a peça rígida porém ainda bastante quente, acima de 500°C, de forma a evitar choque

térmico no contato com os produtos da combustão. A tecnologia do acabamento a chama visa o ataque a determinadas partes específicas das peças, elevando a temperatura para realizar o serviço, mas sem causar o colapso da forma original. Os parâmetros mais importantes a serem observados são a temperatura e a velocidade da chama, associadas ao tempo de residência na superfície de vidro.

Nos processos de acabamento de bordas, o ataque da chama dificilmente causa o colapso da peça. A participação das misturas GLP – hidrogênio restringe-se a situações especiais, por algum motivo técnico que não pode ser suplantado com a utilização apenas do GLP, como o comprimento da zona de acabamento que pode não ser suficiente em caso de aumento de produtividade.

Porém, quando se trata do polimento de superfícies significativas das peças, para aumentar o brilho, o problema do colapso torna-se muito mais crítico. Nestas situações, encontra-se a aplicação do hidrogênio puro queimando com oxigênio, de forma que a elevada velocidade de chama faça o trabalho térmico num período de tempo mais curto quanto possível. Porém os custos são elevados, fazendo com que o processo torne-se inviável economicamente como ocorreu numa indústria na Grande São Paulo. Em outro cliente, a mistura GLP – hidrogênio mostrou sua viabilidade técnica e econômica, onde o GLP colabora com seu baixo custo e o hidrogênio com sua elevada velocidade de chama, possibilitando dosar as proporções na medida em que os resultados técnicos e econômicos sejam ambos viabilizados.

Os resultados obtidos em três fábricas de vidro já provaram que os citados objetivos podem ser atingidos.

8. CONSIDERAÇÕES ECONÔMICAS

Comparando-se os custos específicos do hidrogênio com o GLP e o propano especial, percebe-se que existe uma grande diferença entre eles. Os valores

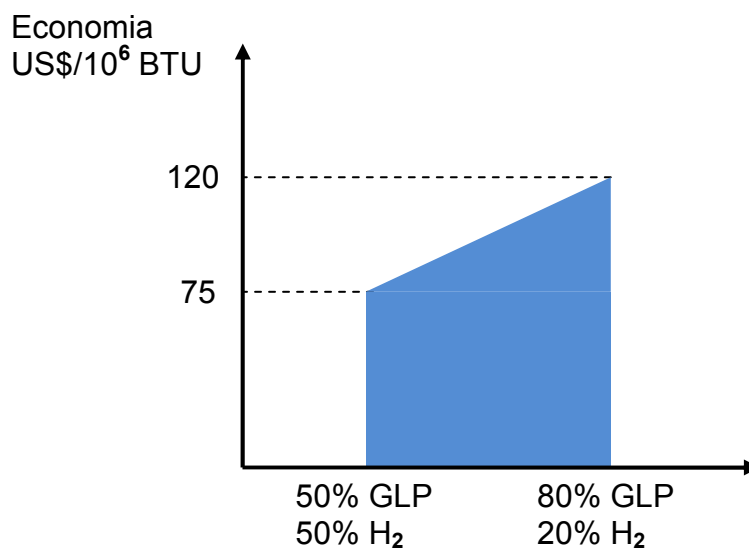
aproximados em dólares norte-americanos, tomando-se por base o equivalente energético de um milhão de BTU (*British Thermal Unit*), são:

- GLP: 30 US\$ / 10^6 BTU
- Propano especial: 60 US\$ / 10^6 BTU
- Hidrogênio: >180 US\$ / 10^6 BTU

OBS.: 1 BTU = 0,252 kcal ou 1 kcal = 3,928 BTU

A maioria das aplicações estabeleceu uma proporção na faixa de 50 a 80% de GLP com 50 a 20% de hidrogênio, respectivamente. Isso conduz o processo a uma economia significativa em relação à utilização de hidrogênio puro, conforme mostra a FIGURA 4.

FIGURA 4. Economias obtidas com as misturas GLP – hidrogênio.



Portanto, o desenvolvimento das aplicações das misturas GLP – hidrogênio deve ter como meta a utilização dos teores mais baixos possíveis de hidrogênio.

9. CONCLUSÕES

As aplicações desenvolvidas com as misturas GLP – hidrogênio, incluindo naturalmente a mistura do propano especial com hidrogênio, demonstraram simultaneamente as viabilidades técnicas e econômicas nos citados processos industriais.

Os conceitos apresentados neste trabalho permitem o desenvolvimento de novas aplicações em outros segmentos de atividades industriais, ainda inexistentes, desde que existam os pré-requisitos preconizados.

Dependendo do processo de obtenção do hidrogênio, a adoção de sua mistura ao GLP pode colaborar para a redução das emissões de gás carbônico, quando comparada com as emissões originais do gás liquefeito puro. Porém, como o hidrogênio não está disponível na natureza, sendo considerado portanto um vetor energético, seus balanços energético e ambiental devem ser analisados em toda a cadeia para determinar se, efetivamente, contribuiria ou não para a redução da pegada de carbono.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHLBERG, K., *Aga Gas Handbook*, Sweden, 1985.
- ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, *Resolução ANP Nº 18*, DE 2.9.2004 – DOU 6.9.2004.
- COSTA, F.C., *LP Gas - Hydrogen Blends in the Glass Industry*, World LP Gas Forum 2010, Madri.
- GAMA GASES – website: www.gamagases.com.br/Acetileno2.pdf , acesso em 05.09.2011.
- HALLDEARN, R. – *Arc spraying*, TWI Knowledge Summary, Cambridge, UK, 2008.
- JENKIN, D.B., *The properties of liquefied petroleum gases*. London, England, 1962.
- KRONA – website: www.krona.srv.br, acesso em 04.09.2011
- LIMA, C., Camargo, F., Marques, P. - *Estudo comparativo das propriedades de revestimentos a base de cobalto (stellite) aplicados por soldagem e por aspersion térmica, xxiv encontro nacional de tecnologia da soldagem, xi congresso latino-americano e v ibero-americano de soldagem*, Fortaleza – CE, 1998.