



Tecnologia para produção de biocombustíveis: compressão de biogás **Eduard Joseph Krummenauer¹, Giovani Garcia da Silva², Heleno Quevedo de Lima³, José de Souza⁴, Lirio Schaeffer⁵**

¹Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (eduard@ped-energia.com)

²Ldtm / Universidade Federal do Rio Grande do Sul (giovani@ped-energia.com)

³Universidade Federal do ABC (heleno.lima@ufabc.edu.br)

⁴Ldtm / Universidade Federal do Rio Grande do Sul (jose@ped-energia.com)

⁵Ldtm / Universidade Federal do Rio Grande do Sul (schaeffer@ufrgs.br)

Resumo

O tratamento de resíduos orgânicos, urbanos ou rurais, vinculado à produção de energia através de fontes renováveis, desempenha um papel vital na promoção do desenvolvimento sustentável. O biogás é composto basicamente por metano. Este excelente gás combustível é uma alternativa para as mais diversas aplicações. O mesmo, gerado através dos resíduos descartados, possui uma característica duplamente benéfica: ser uma fonte de energia renovável e ser um agente despoluidor e remediador. No entanto, a produção, o tratamento, o transporte e o acondicionamento do biogás exigem o desenvolvimento de tecnologias adequadas. O presente trabalho tem como objetivo demonstrar a viabilidade técnica de construção de uma bomba compressora tipo booster para biogás. Esse equipamento propicia o transporte e o acondicionamento do biogás em cilindros e reservatórios para que seja utilizado em diferentes locais. Assim, se reduz a combustão direta em queimadores do tipo *flair* e se aproveita o potencial energético que é desperdiçado nestes queimadores, utilizando-o de maneira eficiente. Através de um estudo das propriedades mecânicas e físicas dos materiais envolvidos busca-se a utilização do polímero poliamida PA6 para o desenvolvimento da bomba Booster. Estes materiais poliméricos (plásticos de engenharia) apresentam excelentes propriedades físico-químicas e mecânicas propícias ao desenvolvimento de mecanismos aplicados às condições adversas, existentes em ambientes corrosivos e com altas pressões.

Palavras-chave: Compressão de Biogás, Energias Renováveis, Biocombustíveis, Booster

Área Temática:10 - Biocombustíveis.

Abstract

The treatment of organic waste, urban or rural, linked to energy production from renewable sources and plays a vital role in promoting development. Biogas is composed basically methane. This excellent fuel gas is an alternative to the most diverse applications. The biogas generated by waste disposed, has a characteristic doubly beneficial: to be a source of renewable energy and is a licensed clean-up and remediation. However, the production, processing, transport and packaging of biogas require development of appropriate technologies. This article aims to demonstrate the feasibility technique of building a compressor pump type booster for biogas. This equipment provides the transport and packaging of biogas in cylinders and reservoirs to be used in different places. Thus, they reduce the direct combustion in flairs and takes advantage of the potential energy that is wasted in these burners, using it in an efficient. Through a study of the properties mechanical and physical properties of the material involved are seeking the use of the polymer to the polyamide PA6 pump development. These materials polymers (plastic engineers) have excellent physic-chemical and mechanical conducive to the development of mechanical applied to adverse conditions existing in corrosive environments and with high pressures.



Keywords: Biogas Compression, Renewable Energy, Biofuels, Booster

Theme Area: 10 Biofuels.

1 Introdução

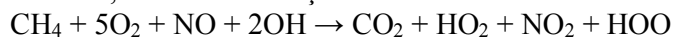
O desenvolvimento de um país é o conjunto de características das condições de vida dos seus habitantes, como o bem estar social, o livre acesso a saúde e a educação, trabalho, renda, transporte, segurança e lazer. Todas estas características estão ligadas direta ou indiretamente à produção energética da nação em questão e à tecnologia empregada na geração da energia, bem como quantidade e a qualidade, desempenham papel fundamental neste desenvolvimento. O desenvolvimento sustentável está diretamente relacionado com o emprego de tecnologias limpas e renováveis para produção, transporte e utilização de combustíveis.

Durante muito tempo não nos preocupamos com as fontes e recursos disponíveis e com os resíduos gerados. De modo que acreditava-se que os recursos energéticos, ou naturais em seu conjunto, fossem inesgotáveis; podendo ser consumidos indiscriminadamente, sem atentar para a possível escassez e da poluição. Somente nas últimas décadas verificamos o desgaste energético e climático, com o uso irracional dos recursos naturais. A poluição gerada em todas as etapas envolvidas na cadeia energética está diretamente relacionada aos recursos naturais. No Brasil, tem-se como objetivo, reduzir as emissões de gases causadores do efeito estufa em 36,1% e 39,8% até 2020 conforme anunciado na Climate Change Conference - COP15 realizada na Dinamarca entre os dias 7 e 18 de dezembro de 2009. Essa redução passa por uma matriz energética baseada em energias renováveis, já que a energia e a poluição são dois assuntos interligados e que necessitam de planejamento, buscando o desenvolvimento e a sustentabilidade.

A produção, tratamento ou o uso da energia é um importante aspecto a ser considerado. Os biocombustíveis desempenham importante papel neste objetivo que o País vem buscando atingir, pois apontam para um caminho responsável através da redução da poluição e do aumento da produção de energia de maneira consciente. Estes, produzidos de forma renovável contribuem de forma significativa com a natureza e o meio ambiente, pois os níveis de emissão de poluentes são menores, comparados com os combustíveis de origem fóssil.

O biogás é um biocombustível composto basicamente por Metano (CH₄) e a emissão de poluentes na queima desse gás é muito menor do que outros combustíveis. Além disso, tem uma grande vantagem ambiental, pois a produção do mesmo tem origem do tratamento de resíduos poluidores. A produção de biogás vem crescendo no país através da implantação de reatores anaeróbicos (Alves, 2000). Com isso, surge o aumento da necessidade de equipamentos para produção, tratamento e transporte do biometano e que acarreta à importação de tecnologias relacionadas. A importação dessas tecnologias tem dificultado a implantação de projetos de geração de energia através desta fonte devido aos altos custos dos equipamentos e dos impostos sobre estes. Isso reduz a possibilidade de implantação e diminui a competitividade deste biocombustível prejudicando esse tipo de iniciativa.

O Metano é tido como um gás que tem um potencial poluidor 21 vezes maior do que o CO₂ e é considerado como contribuinte em 19% no efeito estufa. Uma vez gerado e liberado na atmosfera, o metano (que é proveniente de toda e qualquer matéria orgânica degradada) acaba oxidando, conforme a reação abaixo:



Essa oxidação troposférica produz grande quantidade de Dióxido de Carbono (CO₂) e Dióxido de Nitrogênio (NO₂) gases nocivos ao meio ambiente e á saúde. Os mesmos são



responsáveis por diversas reações. O primeiro pode causar o aumento de sintomas em doenças respiratórias e alterar os mecanismos de defesa de patógenos (Baird, 2002).

O aspecto social relevante é o fato de que a acessibilidade aos recursos energéticos eleva a qualidade de vida dos cidadãos que estão inseridos nesses locais com grande potencial gerador. Caso empregarmos tecnologias nacionais, estes consumidores poderiam usufruir desse biocombustível de maneira simplificada e econômica. Resíduos orgânicos urbanos, esgotos, etc, poluem o meio ambiente caso não sejam tratados e esse fato desempenha um papel fundamental no processo de sustentabilidade e de desenvolvimento do País. Uma vez não tratados, causam sérios prejuízos à sociedade, pois disseminam doenças, poluem o ar, solo e os recursos hídricos. Por outro lado essas fontes poluidoras podem ser utilizadas como fonte de energia em estações de tratamento e geração de energia renovável.

Usinas de tratamento de resíduos orgânicos compõem uma alternativa aos aterros sanitários. Sendo que o último somente retém os resíduos orgânicos urbanos, não gerando energia de maneira eficiente e ainda permanecendo com essa carga orgânica retida por vários anos. Nos aterros a emissão de poluentes é grande, os gases poluem a atmosfera e os resíduos resultantes podem contaminar o solo, subsolo, lençol freático e os cursos d'água. Nas usinas, os resíduos são tratados gerando energia de forma controlada em curto período de tempo e de forma otimizada.

Assim como nos centros urbanos, no meio rural também há uma grande produção de material orgânico, este é resultante de colheitas, plantações, desbastes, dejetos de animais entre outros, compondo um grande potencial energético. Outro recurso altamente poluidor é o esgoto cloacal que causa sérios danos ao meio ambiente e que também pode ser utilizado na geração de energia (Ensinas, 2003).

O principal subproduto destas usinas de tratamento e geração de energia é o biogás, obtido através da decomposição destes materiais orgânicos por bactérias anaeróbicas, denominadas metanogênicas que se desenvolvem em diferentes estágios dentro de câmaras fechadas sem contato com o ar, conhecidos como reatores anaeróbicos. Dentro destas câmaras ocorre o desenvolvimento das bactérias e tem como resultado a quebra desse composto orgânico que é transformado em biogás. Esse biocombustível difere em sua composição em função da sua formação e do substrato do qual é obtido. Basicamente, ele é composto por Metano, Dióxido de carbono, Nitrogênio, Oxigênio, Gás sulfídrico e Amônia (Costa, 2006).

O Biometano é obtido através da filtragem do biogás aumentando a concentração de Metano e reduzindo a fração dos gases não combustíveis. Esse biocombustível quando utilizado em veículos automotores é denominado de Gás Metano Veicular – GMV, e compõe-se em um excelente gás combustível, se tornando uma excelente alternativa para veículos automotores. Para utilizá-lo como combustível veicular é necessário a compressão e o carregamento do biometano em cilindros especiais (Ilyas, 2006). Também pode ser usado para geração de energia elétrica, mecânica e térmica, no entanto necessita ser transportado e a pressão mantida em níveis estáveis (Kapdi, 2005). Para tanto é necessário a utilização de equipamentos de compressão e manutenção da pressão.

O desenvolvimento e a implementação de alternativas tecnológicas com vistas à geração de energia a custos reduzidos para esse segmento geram impactos socioeconômicos positivos, uma vez que não restringe o biogás ao local onde é produzido. O tratamento dos resíduos sólidos urbanos desempenha um papel fundamental na redução dos impactos ambientais causados pelos resíduos não tratados. A redução da poluição gerada é imprescindível para promover a recuperação de áreas contaminadas, principalmente pela ação de gases, contaminação dos recursos hídricos e transmissão de doenças relacionadas a vetores presentes nos depósitos dos mesmos. A geração de combustíveis através desta fonte limpa e renovável caminha na busca por sustentabilidade. Os setores econômicos e energéticos no País e no mundo estão concentrados na busca por tecnologias e avanços em biocombustíveis.



Muitos desses esforços têm sido empregados no meio acadêmico-científico para a geração de conhecimento e de novas tecnologias que promovam as formas de energias renováveis. Assim, o biogás é um dos elementos pertencentes deste grupo de combustíveis uma vez que pode ser oriundo de matéria orgânica biodegradada. Além deste aspecto limpo, o processo de obtenção de biogás exerce duplamente o caráter renovável, pois tende a eliminar a disposição sem controle dos resíduos ao solo e oferece uma alternativa energética com menor agressão ao meio ambiente durante sua queima.

2 Objetivos

O desenvolvimento de uma tecnologia acessível para compressão de biogás aplicada em unidades descentralizadas de produção deste biocombustível apresenta-se como uma necessidade. O mesmo precisa ser comprimido para a utilização em motores e turbinas, armazenamento em cilindros, entre outras aplicações. Isso implica no desenvolvimento de um equipamento acessível e ao mesmo tempo robusto, cuja suas partes e componentes sejam de um material que tenha resistência química e mecânica e que ofereça uma capacidade de compressão para baixas e médias pressões. A tecnologia de compressão deverá ser flexível, portátil e de fácil instalação e manutenção para universalização e acesso de pequenos e médios proprietários de usinas e mini usinas de biogás (como suinocultores, agroindústrias e aterros municipais). Para tanto deverá também ser movido através do próprio biocombustível produzido na usina, atendendo o viés da sustentabilidade energética. Dessa forma o mesmo deverá ser movido utilizado de um motor bicombustível movido a biogás e a álcool. De forma que o equipamento torna-se bastante flexível e não poluidor.

O intuito principal deste trabalho é demonstrar a viabilidade técnica de construção de uma bomba compressora tipo booster para a compressão do biogás com a utilização de polímeros. Este mecanismo aplicado em uma usina de biogás deverá possuir propriedades mecânicas que confirmem resistência à fadiga, à ruptura, ao desgaste e aos esforços físicos sujeitos quando em funcionamento. Assim como a resistência mecânica, esse equipamento deverá possuir resistência química contra a corrosão e não deverá sofrer reação com os elementos líquidos e gasosos agressivos formados durante a fermentação anaeróbica e a produção de biogás como o ácido sulfídrico (H_2S).

3 Justificativa

O transporte e uso dos biocombustíveis gasosos como biogás estão condicionados à compressão devido ao grande volume ocupado a pressão atmosférica. É praticamente inviável transportar e armazenar biogás em cilindros e gasômetros sem comprimi-lo a médias ou altas pressões. Equipamentos para compressão são caros e não existem muitas alternativas no mercado. Outro fator decisivo é a utilização deste biocombustível em motores, ou sistemas de geração de energia elétrica, pois precisa ser comprimido para poder ser utilizado de maneira eficiente (Rutz, 2007). O biogás com uma pressão estável pode ser utilizado em motores e grupos geradores, em fornos e fogões, em campânulas e demais dispositivos de ambiência em criadouros e no maquinário agrícola adaptado à combustão de biogás, de GNV – Gás Natural Veicular e de GMV - Gás Metano Veicular (Andrade, 2003).

O meio rural no Brasil possui grande capacidade de produção de energia elétrica renovável através da biomassa. Apenas o Estado do Rio Grande do Sul é estimado o potencial de 18,13 MW à 27,53 MW a partir da silvicultura e 162,58 MW a partir da casca de arroz, através de biodigestão. As usinas de biogás podem ser uma tecnologia que possibilitam atingir este patamar de produção, de forma descentralizada, (ANEEL, 2005).

As usinas de biogás (estações de tratamento de resíduos e geração de energia) ainda hoje são pouco utilizadas no meio rural, pois a produção de biometano (com qualidade



próxima do Gás Natural) carece de tecnologias para sistemas de tratamento e acondicionamento deste biocombustível. Além do aspecto material, as técnicas industriais de fabricação das peças destes equipamentos para usinas de biogás, utilizando ligas metálicas, aumentam o custo de produção, devido à grande demanda de energia e um número elevado de etapas até o seu acabamento.

Os métodos mecânicos e metalúrgicos atuais para a produção de sistemas de compressão de biogás, mesmo em sistema de produção em série, tornam-se viáveis apenas para aplicação em larga escala; restringindo o mercado consumidor para as grandes indústrias de beneficiamento e empresas de energia elétrica com potencial na ordem acima de 1 MWh.

Equipamentos especiais para compressão são caros e não existe tecnologia nacional. A maioria dos equipamentos não é eficiente, pois não são construídos para a compressão específica de biogás, mas geralmente para outros gases como gás carbônico, nitrogênio, oxigênio, etc. Em muitos casos existem adaptações que comprometem o bom rendimento do sistema de conversão da energia.

Das tecnologias de compressão existentes o compressor tipo Booster é o mais indicado para compressão em pequenas e médias usinas, devido à mobilidade, facilidade de instalação e utilização. Este equipamento mantém a pressão estabilizada para o fornecimento deste gás em grupos geradores e microturbinas e também possibilita o transporte do mesmo. Isso se dá através do deslocamento de massa tanto para vasos de pressão em grandes distâncias ou através do envase em cilindros apropriados, mantendo-o condicionado para fornecimento em motores de combustão a ciclo Otto ou diesel adaptados, queima em caldeiras, junkers, fogões industriais, motores, turbinas, etc (Vijay, 2006). O Booster facilita a universalização da utilização do gás não restringindo o uso deste biocombustível ao local onde é produzido.

Os sistemas de compressão para envase de biogás atuais requerem aços-liga especiais que não apenas suportem os esforços mecânicos envolvidos sob altas pressões (3200 PSI a 15 °C), mas também que tenham alta resistência química. Os materiais poliméricos (plásticos de engenharia) apresentam estas propriedades físico-químicas e mecânicas propícias ao desenvolvimento de mecanismos aplicados às condições adversas existentes em usinas de biogás. A poliamida PA 6.6, por exemplo, é um plástico de engenharia que possui boa resistência mecânica (semelhante a algumas ligas de Alumínio) e, além de ser inerte aos agentes ácidos da fermentação e do biogás (alta resistência química), possui baixo coeficiente de atrito (alta resistência à abrasão, semelhante ao PTFE - Politetrafluoretileno).

4 Materiais e métodos

Booster é um equipamento composto basicamente por um cilindro hidropneumático acionado por bomba ou compressor instalado em local afastado o suficiente para não provocar riscos, separado do ambiente de produção do biogás. Ver figura 1. Este é flexível e pode ser movimentado com motor utilizando o próprio gás, combustível em abundância no local onde é produzido. Esse equipamento fácil de instalar e de baixa manutenção é bastante robusto. Ideal para esse tipo de aplicação, pois é fácil de ser transportado, instalado e operado. Os materiais deverão ser os mais resistentes possíveis ao desgaste, atrito e pressão. Com esse intuito efetuou-se a análise da parte mais crítica e delicada do sistema de compressão e que tem contato com o biogás conhecida por camisa de compressão. O funcionamento desse dispositivo se dá basicamente através de dois passos; o gás é admitido no recuo de cilindro, PASSO 1, e comprimido no avanço, PASSO 2, quando é forçado para dentro de um reservatório. Esse movimento oscilante é efetuado com uma velocidade que dependerá da vazão e da força necessária para deslocar o cilindro e a compressão desejada.

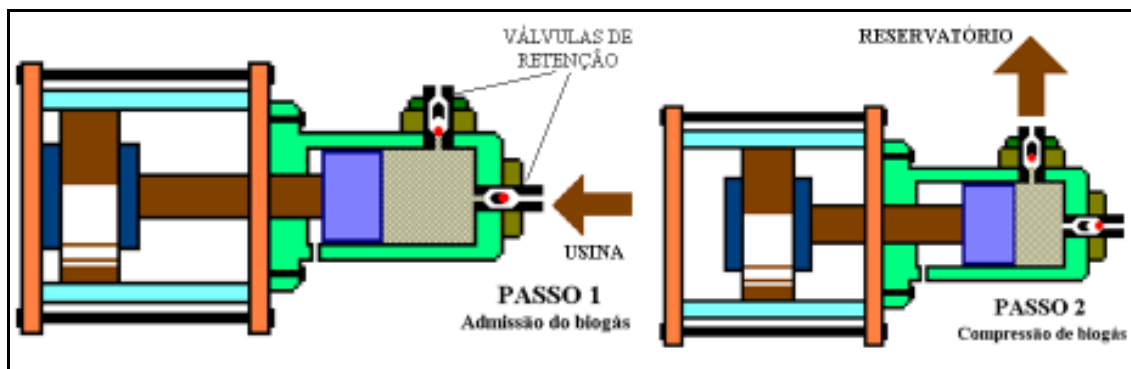


Figura 1 - Booster Compressor para biogás.

A admissão e compressão do gás na camisa são controladas através das válvulas de retenção colocadas na entrada e saída da camisa, elas são responsáveis por impedir que o biogás escape na compressão ou retorne do reservatório.

A camisa de compressão vista na figura 1, razão principal deste estudo deve ser dimensionada para suportar grandes pressões, desgaste e corrosão, para tanto foi modelada em polímero e pode ser vista na figura 2.

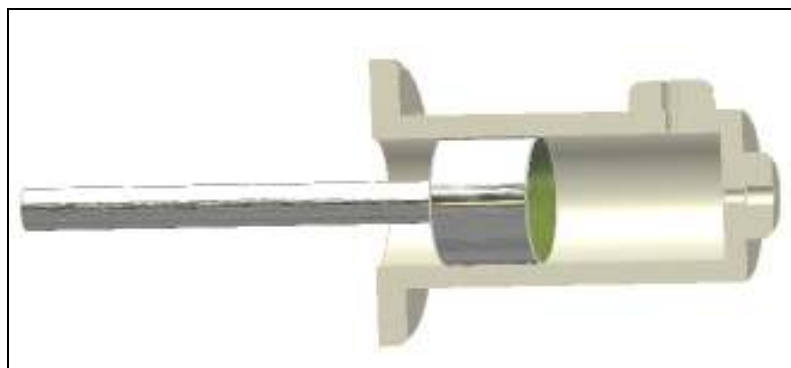


Figura 2 - Camisa de Compressão.

Geralmente esta é fabricada através de um processo de fabricação conhecido por forjamento e tem alto custo para ser desenvolvido. A substituição deste material por um tipo mais acessível e que suporta altas pressões, tem boa resistência ao atrito e ao desgaste é fundamental na construção desse sistema. A escolha por uma poliamida se dá uma vez que este material possui ótimas características e baixo custo de fabricação. Peças de ligas metálicas são cada vez mais substituídas por materiais poliméricos devido às vantagens técnicas e econômicas, pois os polímeros são leves e oferecem boa resistência, química, à abrasão e possuem boa durabilidade (Ramkumara & Gnanamoorthy, 2008).

Os materiais poliméricos (plásticos de engenharia) apresentam estas propriedades físico-químicas e mecânicas propícias ao desenvolvimento de mecanismos aplicados às condições adversas existentes em usinas de biogás. A poliamida PA 6.6, por exemplo, é um plástico de engenharia que possui boa resistência mecânica (semelhante à liga alumínio) e, além de ser inerte aos agentes ácidos da fermentação e do biogás (alta resistência química), possui baixo coeficiente de atrito (alta resistência à abrasão, semelhante ao Teflon).

Foram ensaiadas amostras em ensaios de tração do material PA 6.6 com a finalidade de se verificar a resistência e as propriedades mecânicas através dos cálculos. Conforme a curva da figura 3.

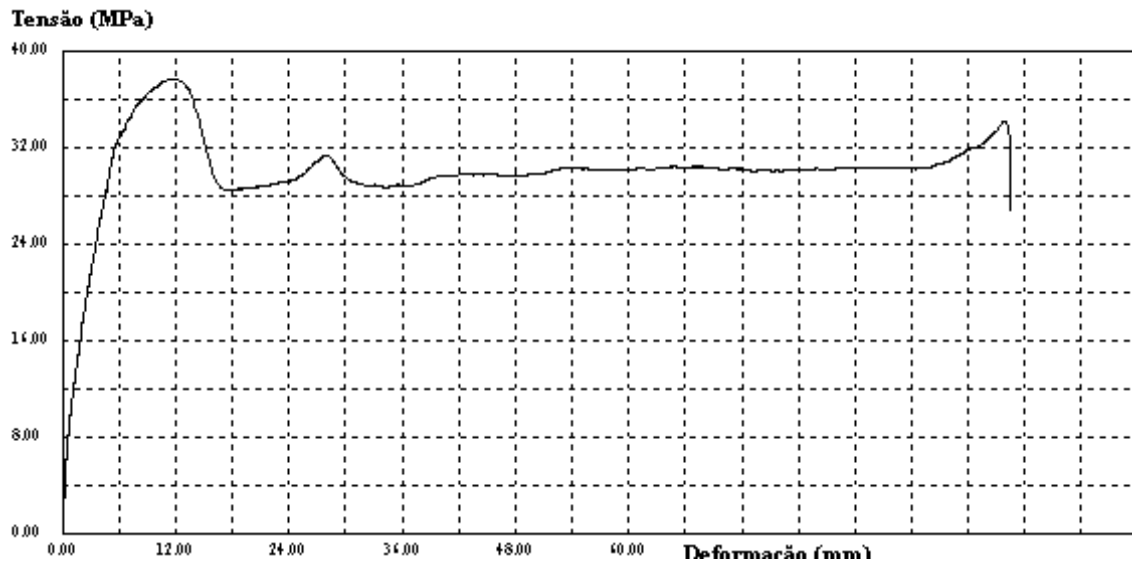


Figura 3 – Gráfico Tensão x deformação da poliamida PA 6.6 – Lab CIMOL

Observou-se que o material teve um alongamento percentual conforme a equação 1:

$$A = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100 = \frac{144 - 43,5}{43,5} \times 100 = 231\% \quad (\text{Equação 1})$$

Para a deformação obteve-se:

$$\varepsilon_C = \left(\frac{l - l_0}{l_0} \right) = \left(\frac{144 - 43,5}{43,5} \right) = 2,31 \quad (\text{Equação 2})$$

Para deformação real observou-se que os valores:

$$\varepsilon_R = \ln(\varepsilon_C + 1) = \ln\left(\frac{l}{l_0}\right) = \ln\left(\frac{140}{43,5}\right) = 1,1688 \quad (\text{Equação 3})$$

Para efetuar os cálculos foram levantados os dados em ensaios de tração de amostras do material Liga Alumínio. Conforme a curva da figura 2 pode-se efetuar os cálculos de resistência.

Para o alongamento percentual observou-se que os valores:

$$A = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100 = \frac{86,7 - 70}{70} \times 100 = 23,85\% \quad (\text{Equação 4})$$

Para a deformação obteve-se:

$$\varepsilon_C = \left(\frac{l - l_0}{l_0} \right) = \left(\frac{86,7 - 70}{70} \right) = 2,385 \quad (\text{Equação 5})$$

Para deformação real observou-se que os valores:

$$\varepsilon_R = \ln(\varepsilon_C + 1) = \ln\left(\frac{l}{l_0}\right) = \ln\left(\frac{86,7}{70}\right) = 0,2139 \quad (\text{Equação 6})$$

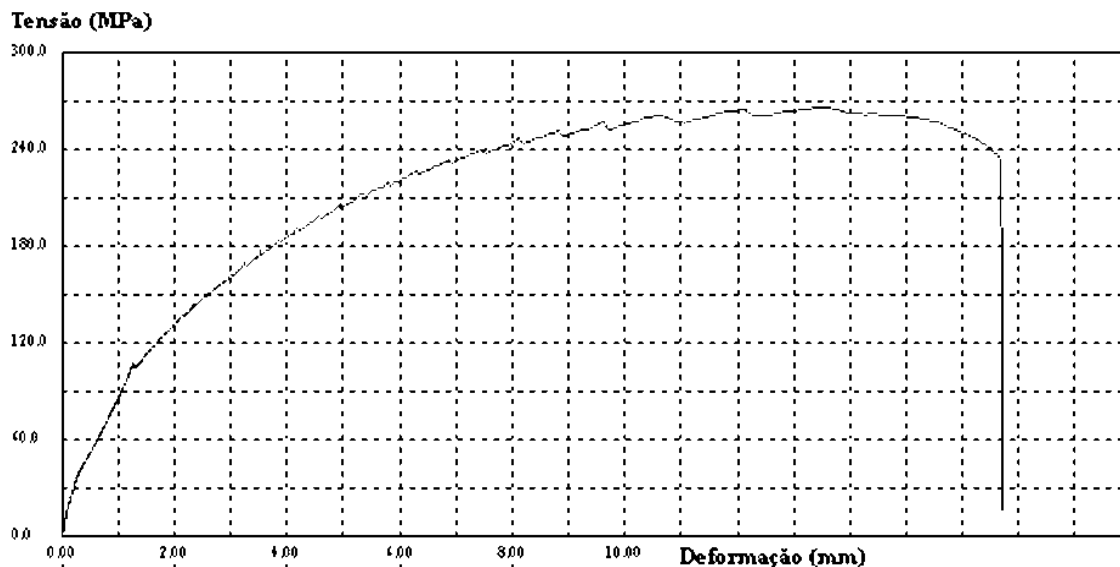


Figura 4 – Gráfico Tensão x Deformação Liga de Alumínio - Lab CIMOL

5 Discussão dos Resultados

Conforme pode ser verificado nos ensaios a poliamida PA 6.6 e a liga de alumínio têm comportamentos distintos. A tensão máxima da poliamida foi de 37,6 MPa uma vez que a da liga é 250 MPa. O alongamento e a deformação da poliamida foram muito maiores do que da liga o que indica um menor módulo de Elasticidade, consequentemente menos rígido.

Para construção da camisa em poliamida ainda necessita-se considerar a composição da poliamida. No caso da figura 3 verificou-se com uma composição de 5% de fibra de vidro. Esta composição pode variar até 35% o que aumenta a resistência mecânica do material. Para uma poliamida com 33% de fibra de vidro, 18% do volume a tensão chega a 125,5 MPa o que melhora ainda mais a resistência mecânica deste material.

Para a fabricação da camisa de compressão observa-se que o processo de fabricação indicado é através de injeção em matriz fechada. A injeção deste material modifica a estrutura cristalina melhorando a resistência da peça (Shan et ali, 2006). A injeção dos materiais poliméricos também é uma vantagem devido ao menor custo de matrizes e injetoras comparado com processo semelhante para as ligas.

Para a compressão do biogás é necessário a secagem do mesmo, pois a exposição da poliamida à água pode acelerar a sua degradação para temperaturas entre 25 e 90 °C (Gonçalves et ali, 2009). É indicado utilizar secadores para evitar a redução de vida útil do material. Este tem excelente comportamento devido ao baixo atrito o que é fundamental devido ao movimento do êmbolo dentro da camisa exercendo a força para compressão do biogás.

6 Conclusões

Os materiais poliméricos (plásticos de engenharia) apresentam estas propriedades físico-químicas e mecânicas propícias ao desenvolvimento de mecanismos aplicados às condições adversas existentes em usinas de biogás. A poliamida PA 6.6, por exemplo, é um plástico de engenharia que possui boa resistência mecânica (semelhante à da liga de Alumínio) e, além de ser inerte aos agentes ácidos da fermentação e do biogás (alta resistência química), possui baixo coeficiente de atrito (alta resistência à abrasão, semelhante ao Teflon). Além do aspecto material, as técnicas industriais de fabricação das peças destes equipamentos



para usinas de biogás, utilizando ligas metálicas, aumentam o custo de produção, pois demandam muita energia e um número elevado de etapas até o seu acabamento. Polímeros nanocompostos com materiais fibrosos que é reforçado com fibras minerais e/ou sintéticas (como a fibra de vidro, por exemplo) têm mostrado excelentes propriedades mecânicas incluindo tensão de escoamento, módulo de elasticidade, tensão de ruptura (Sinha et al, 2009). Para uma peça em constante atrito e movimento o material é indicado devido à sua resistência à fadiga (Mallick & Zhou, 2004).

Devido a estas vantagens, cada vez mais os plásticos de engenharia estão substituindo as peças metálicas. Além dos benefícios citados estão o baixo custo, rigidez, elevada processabilidade e boas resistências mecânicas, a intempéries, ao impacto e à fadiga, além do baixo coeficiente de atrito, alto ponto de fusão, leveza, dentre outros. Outro aspecto importante é a redução do peso do equipamento.

A camisa de compressão em Poliamida pode ser uma excelente alternativa para ligas metálicas. Para o caso estudado verifica-se a possibilidade da substituição da peça o que pode trazer vantagens em determinadas situações.

Referências

ALVES, J. W. S. - **Diagnóstico Técnico Institucional da Recuperação e uso Energético do biogás Gerado pela Digestão Anaeróbica de Resíduos** - Dissertação de Mestrado - PIPGE, USP – São Paulo, 2000

ANDRADE, M. A. N. et al - **Biodigestores Rurais no Contexto da Atual Crise de Energia Elétrica Brasileira e na Perspectiva da Sustentabilidade Ambiental**” Coordenadoria de Gestão Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis – SC, 2003

ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL – ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, 2ª Edição – 2005 Disponível em <http://www3.aneel.gov.br/EdicaoLivros2005atlas>

BAIRD, C. – **Química Ambiental** – Editora Bookman, 2ª Edição – Porto Alegre – 2002 – 622 pág

COSTA, D. F. - **Geração de energia elétrica a partir do Biogás do tratamento de esgoto** – Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo – São Paulo, 2006

ENSINAS, A. V. - **Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas** - Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP - Campinas, 2003

GONÇALVES, E. S. et al - *Mechanism of the temperature-dependent degradation of polyamide 6.6 films exposed to water* - Department of Chemistry, University of Aarhus, DK 8000 Aarhus, Denmark – 2007

ILYAS, S.Z. - *A Case Study to Bottle the Biogás in Cylinders as Source of Power for Rural Industries Development in Pakistan* - World Applied sciences Journal, Group of Renewable of Physics, University of Balochistan, 873000, Pakistan 2006

KAPDI, S. Z. et al - *Biogás Scrubbing, Compression and Storage: perspective and prospectus in Indian context* - Renewable Energy –Renewable Energy – Centre for Rural Development and Technology, Indian Institute of Technology, New Dehli 110016 - India, 2005



MENDES, L. G. G.; SOBRINHO P. M. – **Métodos de estimativa de geração de biogás em aterro sanitário** – Universidade Estadual Paulista – UNESP - Faculdade de Engenharia, Campus Guaratinguetá – FEG – SP

MALLICK, P. K. & ZHOU, Y. – *Effect of mean stress-controlled fatigue of a short E-glass fiber reinforced polyamide 6,6* – Center for Lightweighting Automotive Materials and Processing, University of Michigan-Dearborn, MI – USA, 2004

RAMKUMARA, A; GNANAMOORTHY, R – *Axial fatigue behaviour of polyamide-6 and polyamide-6 nanocomposites at room temperature* – Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology Madras, India – 2008

RUTZ, D.; JANSSEN, R. - Biofuel Technology Handbook - WIP Renewable Energies Sylvensteinstr. 281369 München – Germany, 2007

SINHAA, K. et ali - *Scratch and normal hardness characteristics of polyamide 6/nano-clay composite* – Sujeet Tingwan Songa, XuefeiWana, Yuejin Tongb, - Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore, Singapore – College of Chemistry and Materials Science, Fujian Normal University, Fujian Key Laboratory of Polymer Materials, Fuzhou 350007 – China, 2009

SHAN, G. et ali – *Effect of cristallinity level on the double yielding behavior of poliamide 6* – State Key Laboratory of Polymer Materials Engineering – Sichuan University – Sichuan, 2006

VIJAY, V. K, et ali - *Biogas Purification and Bottling into CNG Cylinders: Producing Bio-CNG from Biomass for Rural Automotive Applications* - Centre for Rural Development and Technology, Indian Institute of Technology, Delhi, Hauz Khas, New Delhi – India, 2006