

A MAIORIDADE DO BIOGÁS

Michael A. Devine

Electric Power Division

Gerente de Marketing de Produtos a Gás

Fevereiro de 2013

CATERPILLAR®

INTRODUÇÃO

O metano de digestor está assumindo seu lugar como um importante combustível renovável. As tecnologias atuais de gerador a motor e tratamento de combustível ajudam a transformar o biogás em uma fonte de energia altamente interessante e ecológica para geração de calor e aquecimento.

Há apenas 10 ou 20 anos, bilhões de pés cúbicos de metano provenientes de aterros sanitários e digestores anaeróbicos de estações de tratamento de água residual eram queimados e desperdiçados ou - pior ainda - simplesmente liberados na atmosfera.

Atualmente, esse biogás se tornou uma fonte supervalorizada de combustível, e indústrias do setor agrícola até empresas de laticínios e processamento de alimentos estão descobrindo o seu valor. O potencial é significativo. Para citar apenas um exemplo, a EPA (Environmental Protection Agency, Órgão de Proteção Ambiental) dos Estados Unidos, estima que 8.200 das operações com suínos e de fábricas de laticínios possam ser compatíveis com sistemas de recuperação de biogás, com o potencial de gerar mais de 13 milhões de MWh e substituir cerca de 1.670 MW da geração de combustível fóssil por ano.

De fato, ao mesmo tempo em que usamos mais biogás - a maioria dos aterros com capacidade superior a 1 milhão de toneladas (1,02 toneladas métricas) de lixo sólido existentes e muitas estações de

tratamento de água residual municipais com capacidade acima de 30 milhões de galões por dia (113.500 m³ por dia) agora o usam para gerar energia - também estamos produzindo mais biogás. Cada vez mais estações de tratamento de água residual alimentam seus digestores com materiais orgânicos para impulsionar a produção de gás, e digestores autônomos que produzem biogás a partir de estrume, restos de alimentos e outros produtos estão recebendo uma grande atenção.

Este é o momento para as empresas gerarem volumes de resíduos orgânicos a fim de avaliar os benefícios de se transformar esse material em combustível. O processo é relativamente simples - com a ajuda de um especialista confiável, que possa:

- Calcular a quantidade de resíduos disponível
- Calcular a quantidade de gás disponível
- Calcular a receita potencial relativa à energia gerada com o gás disponível
- Calcular os custos de operação iniciais e de longo prazo
- Calcular o retorno do investimento.

Quando os fundamentos parecerem favoráveis, um parceiro financeiro forte poderá ajudar a simplificar o processo de análise, determinar se determinado projeto é viável e, se for, qual a melhor forma de financiá-lo.

O CASO DE NEGÓCIOS

Uma variedade de setores pode se beneficiar de projetos de transformação do biogás em energia. Matérias-primas para digestores anaeróbicos podem incluir silagem de colheitas energéticas como milho e sorgo doce, resíduos de colheitas, cortes de plantas provenientes da manutenção de paisagismo, dejetos de alimento de restaurantes e lanchonetes, gorduras e óleos e

dejetos de instalações de alimentos e bebidas como cervejarias, fábricas de açúcar, processadores de frutas e vegetais e fábricas de processamento de carne. Os resíduos gerados por animais estão entre os que menos produzem biogás - a receita pode ser aprimorada pela digestão conjunta de gorduras e óleos ou material vegetal (Figura 1).

Produções Potenciais de Biogás

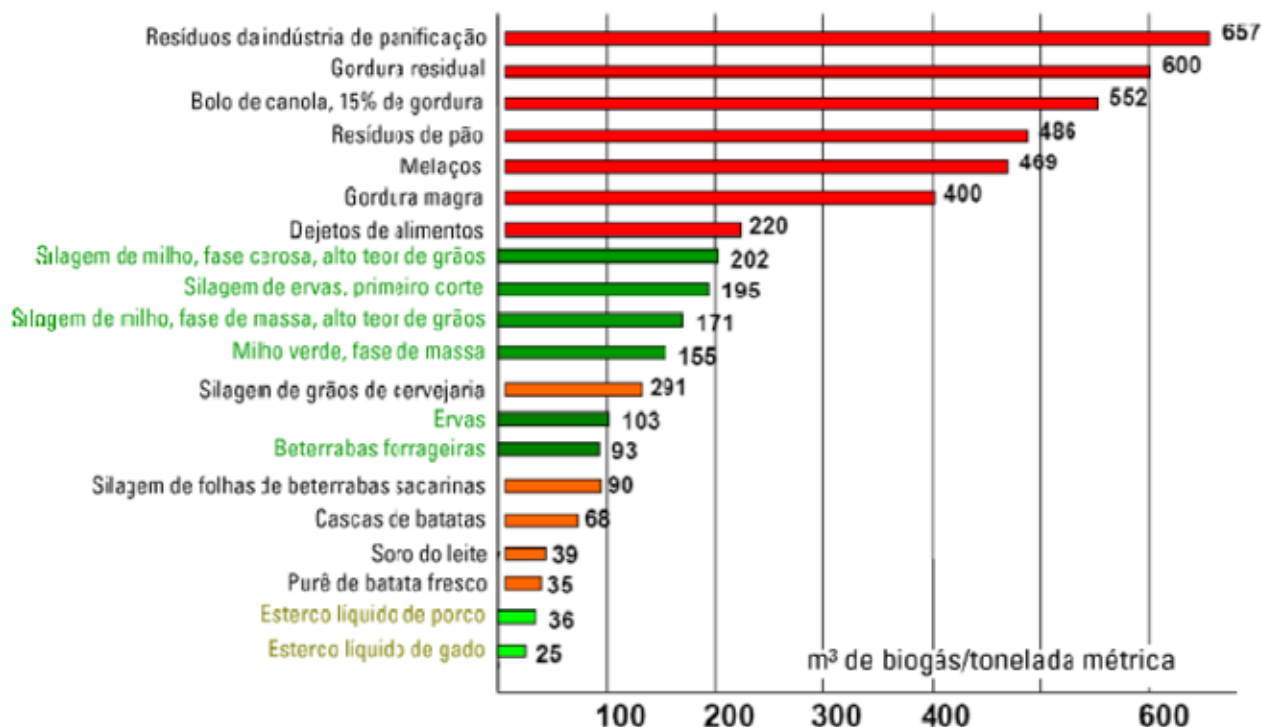


Figura 1

Receita

A análise dos benefícios começa com uma estimulante receita. O cálculo básico considera um fluxo de combustível e uma qualidade do combustível estimados e um gerador a motor de uma determinada capacidade em funcionamento contínuo por um ano. Por exemplo, um grupo gerador de 20 cilindros com capacidade nominal de 2.000 kW pode gerar US\$ 112 por hora com base em um preço de venda de eletricidade de US\$ 0,056 por kWh. Com base em 8.760 horas por ano, essa unidade, teoricamente, poderia gerar, anualmente, US\$ 981.120 de receita.

Naturalmente, nenhum gerador pode funcionar ininterruptamente por um ano. A receita real é determinada pela receita teórica multiplicada pelo fator de capacidade - a porcentagem de seu resultado potencial total que as unidades realmente atingem. Os principais itens que afetam o fator de capacidade e a receita são:

- **Disponibilidade.** A receita é perdida toda vez que o gerador não funciona. Isso inclui tempo de inatividade para manutenção e reparos. Os períodos de indisponibilidade também incluem os momentos em que o digestor não está produzindo gás.
- **Fator de carga.** A receita é perdida sempre que o gerador não pode funcionar com carga total. Isso pode acontecer se o abastecimento de combustível sofrer uma limitação temporária ou se a qualidade do combustível decair.
- **Redução de potência.** A temperatura e a altitude elevadas podem impedir que o grupo gerador atinja sua capacidade nominal.

Também é importante entender como as trocas entre o fator de capacidade e a eficiência elétrica do grupo gerador podem afetar a receita. Suponhamos que sejam usadas duas unidades de 1.000 kW, a um preço de venda de eletricidade de US\$ 70 por MWh e a um custo de produção de combustível de US\$ 2/MMBtu (US\$

70,63/Nm³). Agora suponhamos que as duas unidades funcionem com 96% de capacidade, mas que a Unidade A apresente uma eficiência de 39% e a Unidade B, de 42%. Nesse cenário, a Unidade B apresenta uma vantagem de 2,2% em termos de receita líquida (Figura 2).

Figura 2 – Mesmo Fator de Capacidade, Eficiência Diferente

	UNIDADE A	UNIDADE B
kW do grupo gerador	1.000	1.000
Preço do Gás – US\$/mmbtu	US\$ 2	US\$ 2
Valor da Energia Produzida – US\$/MW-hora	US\$ 70	US\$ 70
Eficiência do Gerador	97%	97%
Taxa de Calor do Motor – BTU/min	145.000	135.000
Fator de Capacidade	96%	96%
Eficiência Elétrica do Grupo Gerador	39,2%	42,1%
Combustível Consumido/ano-mmbtu	73.163,52	68.117,76
Custo do Combustível/ano	US\$ 146.327	US\$ 136.236
MW-Hora Produzido	8.410	8.410
Custo do Combustível/MW-hora	US\$ 17,4	US\$ 13,2
Valor da Energia Produzida	US\$ 588.672	US\$ 588.672
Receita Líquida (Custo do Combustível vs Energia Produzida)	US\$ 442.345	US\$ 452.436

**2.23% de vantagem
em termos de receita**

Agora, para as mesmas duas unidades, suponhamos que a eficiência elétrica seja a mesma ao 42%, mas que o fator de capacidade da Unidade A seja 90% e que o da Unidade B seja

96%. Nesse cenário, a Unidade B apresenta uma vantagem de 6,25% em termos de receita líquida (Figura 3).

**Figura 3 – Mesma Eficiência,
Fator de Capacidade Diferente**

	UNIDADE A	UNIDADE B
kW do grupo gerador	1.000	1.000
Preço do Gás – US\$/mmbtu	US\$ 2	US\$ 2
Valor da Energia Produzida – US\$/MW-hora	US\$ 70	US\$ 70
Eficiência do Gerador	97%	97%
Taxa de Calor do Motor – BTU/min	35.000	35.000
Fator de Capacidade	96%	90%
Eficiência Elétrica do Grupo Gerador	42,1%	42,1%
Combustível Consumido/ano-mmbtu	68.117,76	63.860,40
Custo do Combustível/ano	US\$ 136.236	US\$ 127.721
MW-Hora Produzido	8.410	8.410
Custo do Combustível/MW-hora	US\$ 16,2	US\$ 16,2
Valor da Energia Produzida	US\$ 588.672	US\$ 551.880
Receita Líquida (Custo do Combustível vs Energia Produzida)	US\$ 452.436	US\$ 424.159

**6.25% de vantagem
em termos de receita**

Despesas

As despesas operacionais e de propriedade ocupam o lado oposto do livro razão e, em geral, são medidas em custo por quilowatt-hora vendido ou produzido. O número de quilowatt-hora precisa refletir as condições que reduzem o resultado do gerador: cargas parasitas, fator de capacidade, redução de potência, entre outros.

Em aplicações de biogás, as principais despesas são custos de capital (incluindo tratamento de combustível) e manutenção e reparos. Os últimos incluem manutenção de rotina do motor e recondiçnamentos gerais e periódicos da extremidade superior e do chassi. As atividades de manutenção não devem seguir um calendário fixo, mas sim basear-se em indicadores preditivos. A manutenção preditiva pode ajudar a estender os intervalos de serviço e recondiçnamento e reduzir os custos de serviço em até 15%. As boas práticas preditivas incluem:

- O uso de análise do óleo para trocá-lo quando realmente for necessário - não em um intervalo de tempo de execução prescrito.

Enquanto a oxidação do óleo e a nitrificação determinam os limites de condenação do óleo em aplicações a tubulação de gás, esses limites em aplicações de biogás se relacionam a um baixo número base total (TBN, total base number), que mede a quantidade da capacidade de tamponamento de ácido restante no óleo, e um alto número de ácido total (TAN, total acid number), a quantidade de ácido presente.

- O monitoramento de tendências como a recessão da válvula, o consumo de óleo e emissões de escape para ajustar o cronograma de revisões.
- O uso de ferramentas como a análise de vibração e a termografia infravermelha para detectar um possível problema antes da ocorrência de falhas.

CUIDADOS COM O COMBUSTÍVEL

A maior variável que afeta os custos de um projeto de biogás é a qualidade do combustível. Dependendo da fonte, o biogás contém uma variedade de impurezas que podem aumentar o desgaste e reduzir os intervalos de manutenção e serviço. As impurezas podem incluir:

- Sulfeto de hidrogênio (encontrado com extrema frequência no biogás) e hidrocarbonetos halogenados (mais comuns em gás de digestores de tratamento de água residual e aterros sanitários) podem se combinar com água para formar ácidos que corroem os componentes do motor.
- Silício (poeira, areia, detritos), encontrado com extrema frequência no biogás, causa um desgaste abrasivo prematuro.
- Siloxanos (compostos de silício de produtos de uso doméstico encontrados no gás de digestores de água residual e aterros sanitários) formam nos componentes dos cilindros depósitos rígidos, semelhantes a cerâmica (Figura 4-8).
- Água. Em geral, os motores são projetados para funcionar em até 80% de umidade relativa, conforme medido por água não condensada no combustível; na maioria das vezes, o biogás excede esse nível de forma significativa.



Figura 4: Válvula de escape com formação de Siloxanos



Figura 5: Formação de sulco na válvula



Figura 6: Bujão a vela contaminado com Siloxanos



Figura 7: Formação de siloxanos no rotor da turbina do Turbocompressor



Figura 8: Interior de um silenciador com resíduo de Siloxano

Há três formas básicas de lidar com as impurezas do combustível. Elas podem ser usadas sozinhas ou em conjunto, dependendo

da qualidade do combustível, das condições do ambiente, dos objetivos financeiros e outros fatores.

1. Tratamento do combustível

Várias tecnologias podem remover quantidades significativas de impurezas do combustível. Por exemplo:

- Um resfriador, um desnebulizador ou um filtro coalescente remove, com eficácia, a água do combustível.
- É possível capturar os siloxanos com materiais absorventes, tal como carvão vegetal e sílica-gel.
- A filtragem do ar é eficaz contra silício (pó/sujeira) e outras partículas.
- O adsorvente de carbono ativado remove sulfeto de hidrogênio.

Embora sejam eficazes na redução de agentes contaminantes do combustível, os tratamentos adicionam custos de capital ao sistema de transformação de biogás em energia, acrescentam cargas parasitas ao sistema e exigem materiais de manutenção e mão de obra adicionais.

2. Escolha de um motor “reforçado”

Alguns fabricantes oferecem motores com características de design que “reforçam” os componentes e os sistemas contra as impurezas do combustível de biogás. Essas unidades podem operar a intervalos de manutenção próximos aos normais, com tratamento de combustível menos intenso. Essas modificações incluem:

- **Ventilação do cárter** - Como uma linha de defesa adicional contra a corrosão, uma bomba de baixa pressão expelle os gases de escape de compressão do cárter e absorve ar filtrado, quente e fresco, de forma que os componentes do cárter não sejam expostos a gases de formação ácida e vapor de água.
- **Alterações do sistema de arrefecimento** - A temperatura elevada da camisa de água do motor, de 230 °F (110 °C) em comparação com a temperatura tradicional de 210 °F (99 °C), ajuda a evitar a condensação da água, que atrai o enxofre, o cloro e o flúor entranhados no combustível para formar ácidos fracos, mas danosos. Especificamente, a temperatura mais alta impede que a água do combustível que penetra no motor se condense nas linhas dos cilindros e também impede que os gases de ventilação do cárter se condensem no bloco de motor e em outros componentes, que podem transportar ácidos para o óleo de lubrificação. Testes revelaram que a temperatura mais alta da camisa de água do motor reduz, de forma significativa, a cavitação da camisa do cilindro e a corrosão por ácido dos componentes do cilindro, virabrequins, rolamentos e outras peças de desgaste. A limitação da condensação dos gases de escape também aumenta a vida útil do óleo, reduzindo os ácidos que devem ser absorvidos pelos elementos base (alcalinos) do óleo.
- **Alterações nos materiais** - Metais brilhantes (alumínio e aço sem revestimento), que são vulneráveis à corrosão por ácido, são substituídos em determinados componentes. Por exemplo, as colmeias do pós-resfriador, que são feitas de alumínio em motores padrão, são produzidas em aço inoxidável em versões de biogás; a bronzina da biela usa reforço de latão em vez de aço.
- **Alterações na geometria dos componentes** - Modificações especiais ajudam a limitar os efeitos dos siloxanos do combustível. Por exemplo, os ângulos da válvula e da sede da válvula são aumentados para evitar a formação de depósitos rígidos que podem impedir o fechamento adequado da válvula, permitindo, dessa forma, que os gases de combustão escapem, causando queimaduras nas válvulas de escape e prejudicando o desempenho do motor.

3. Manutenção acelerada

Em alguns casos, pode ser mais interessante que proprietários adiem os custos de instalação associados a sistemas de tratamento de combustível avançados e aceitem os custos de operação associados a intervalos menores de manutenção e recondição. Em geral, esse dilema “pague agora ou pague depois” é decidido com base na avaliação de risco e recompensa de um desenvolvedor.

Avaliação das trocas

Lidar com as impurezas do combustível significa pesar os prós e contras de diferentes tecnologias de motor, sistemas de tratamento de combustível e seus custos iniciais e de longo prazo. Por exemplo, se a qualidade do combustível coincidir com os limites prescritos para motores reforçados de combustível de baixa energia, esse motor poderá ser usado com poucos ou nenhum equipamento de tratamento de combustível, o que, provavelmente, economizará centenas de milhares de dólares em capital e custos de operação de tratamento de combustível.

Por outro lado, se as impurezas do combustível forem tão extensas que exigem um pré-tratamento, independentemente da tecnologia do motor, então os motores de alta compressão/alta eficiência poderão ser uma escolha prudente, pois as economias operacionais geradas pelos ganhos em eficiência ajudarão a equilibrar os custos de instalação, operação e manutenção do sistema de tratamento. Cada projeto é diferente, e a abordagem às impurezas do combustível deve ser ponderada levando-se em conta o combustível e o local.

Determinação das características do gás

Ao escolher uma estratégia para lidar com as impurezas, não há uma única resposta correta. A melhor abordagem para um determinado local depende das condições de operação, objetivos financeiros e, acima de tudo, a qualidade do biogás. O combustível precisa ser analisado com o decorrer do tempo, a fim de se entender os níveis de impurezas, o valor de aquecimento e conteúdo de gás metano e o quanto esses parâmetros variam com o tempo, ou seja, de hora em hora, diária ou sazonalmente. A definição das tendências de todos esses fatores é importante.

É comum o biogás produzido pela digestão anaeróbica conter cerca de 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e o restante de outros gases. É essencial entender que o conteúdo volumétrico de energia do combustível é essencial. Por exemplo, usar biogás de baixa qualidade, com apenas 30% de metano, significa dobrar o fluxo de gás para fornecer a mesma energia, além de expor o motor ao dobro de impurezas. Além disso, o baixo valor de aquecimento do combustível - na realidade, Btu/ft³ (MJ/Nm³) - influencia o tamanho do sistema de fornecimento de combustível.

O teor de dióxido de carbono do combustível também é muito importante. O dióxido de carbono afeta a velocidade da chama nos cilindros, e a temperatura deverá estar abaixo de um determinado nível máximo para manter as temperaturas de escape e da válvula em um intervalo operacional seguro e minimizar a manutenção. Outra variável importante é a relação entre metano e gases inertes livres, incluindo dióxido de carbono e nitrogênio livre (que não penetra do ar naturalmente no combustível). O teor excessivo de gases inertes prejudica a ignição do combustível, causando ignição insuficiente, o que resulta em perda de potência e aumento das emissões de escape.

O teor de siloxanos é uma variável essencial principalmente em combustíveis de biogás originários de estações de tratamento de água residual e aterros sanitários. Em geral, motores com alta taxa de compressão são preferidos para aplicações de biogás por sua maior eficiência, além de serem menos tolerantes a contaminação por siloxanos. Locais que usam motores de alta taxa de compressão poderão ser obrigados a incluir o tratamento de siloxano de combustível, e seu custo inicial e manutenção contínua precisam ser considerados no perfil financeiro do projeto.

O plano do projeto exige uma estimativa dos custos de manutenção em dólares por quilowatt-hora, com e sem tratamento de combustível. A avaliação ideal de um projeto, considerando os diferentes níveis de tratamento de combustível, fornecerá indicações suficientes dos custos prováveis do projeto, a fim de orientar a escolha da melhor alternativa de investimento.

ESCOLHA DE UM PARCEIRO

Poucas empresas detêm o conhecimento para planejar e implementar projetos de transformação de biogás em energia. Fornecedores de equipamentos e consultores podem oferecer o apoio essencial desde o planejamento até o desenho, o financiamento, a construção, a operação e a manutenção do projeto.

Um parceiro de projeto adequado deve ter um conhecimento profundo de biogás e da geração de energia e um histórico de conclusão de projetos lucrativos. O parceiro também deve ter acesso às tecnologias mais apropriadas de geração e tratamento de combustível, conforme exigido pelas condições do local e do combustível.

A assistência técnica, o serviço e a manutenção baseados no local são essenciais, pois os projetos de biogás podem impor desafios operacionais. O curto tempo de resposta do serviço, a entrega imediata de peças sobressalentes e serviços eficientes de reparo e recondicionamento são essenciais para proteger o tempo de operação e manter o fluxo de receita do projeto.

O parceiro ideal oferece suporte integrado para cada fase do projeto, incluindo a capacidade completa de projetar, construir e operar o projeto. Uma opção interessante é fechar um contrato completo de serviço e manutenção com um fornecedor de equipamentos, com validade de vários anos. Esse contrato garante um atendimento atencioso relativo a reparos, manutenção e peças com uma garantia de tempo de operação contratual, a uma taxa fixa, mensal previsível ou anual.

O financiamento é um componente essencial de qualquer projeto de transformação de biogás em energia. Há diversas opções disponíveis, entre elas, financiamento por dívida a prazo e construção para o projeto integral - digestor anaeróbico, tratamento de combustível, sistema de geração de energia, painel de comutação elétrico e controles, equipamento auxiliar e construções.

PRIMEIRAS ETAPAS

Atualmente, o biogás é reconhecido como um valioso combustível renovável. Além de criar uma nova fonte de renda, um projeto de biogás pode viabilizar ainda mais compromissos corporativos

com operações sustentáveis e a redução da pegada de carbono. Empresas com o potencial para produzir e usar biogás são sensatas ao explorar as possibilidades em detalhes.

APLICAÇÕES ESPECÍFICAS

Veja a seguir quatro exemplos de operações lucrativas de transformação do biogás em energia, usando diferentes fontes de combustível:

Aterros. Um aterro com 74 acres (30 ha) em Ämmässuo, na Finlândia, opera quatro grupos geradores fornecidos pela MWM gmbh, empresa da Caterpillar, cada um com capacidade nominal de 3,75 MW e queima de gás metano de aterro. O baixo valor calorífico e a baixa pressão de gás do combustível (1,5 lb/pol²/10,34 kPa) exigiram um regulador de gás para cada banco de cilindros a fim de fornecer combustível suficiente para atingir a saída nominal. A instalação foi comissionada em 2010.

Cervejaria. Uma usina de geração de energia e calor combinados, abastecida com biogás, na Guangzhou Zhujiang Brewery Group Co. na China acomoda condições de carga que variam de acordo com a estação. O sistema usa um grupo gerador Cat® G3508 com capacidade nominal de 460 kW e uma unidade Cat G3516 com capacidade nominal de 960 kW. As duas unidades funcionam com biogás produzido com derivados de grãos e levedura. A eficiência geral do sistema é de 80%. As economias de custos do sistema são estimadas em mais de US\$ 58.000 (RMB 400.000) por mês.



Agricultura. Um grupo gerador Caterpillar CG-132 de 600 kW operado pelo produtor de carne suína Oude Lenferink na Holanda funciona com metano produzido com esterco, milho e glicerina. O motor de biogás, em funcionamento desde 2007, fornece energia mais do que suficiente para toda a operação; a eletricidade excedente é usada na rede elétrica e vendida como energia ecológica.



Tratamento de água residual. A Encina Water Pollution Control Facility, na Califórnia, usa biogás de seu digestor anaeróbico para abastecer quatro grupos geradores Cat G3516 com capacidade nominal combinada de 3.260 kW. Em um dia normal, os grupos geradores funcionam principalmente com biocombustível; um deles funciona com gás natural por quatro a oito horas por dia durante os horários de pico. Em atividade desde 2009 o sistema gera 12 milhões de kWh por ano, atendendo a cerca de 71% das necessidades da Encina Wastewater Authority. A agência planeja que a instalação de água residual produza 96% de suas necessidades de energia no local até 2020.



SOBRE

Sobre a Caterpillar

Há mais de 85 anos, a Caterpillar Inc. possibilita o progresso e impulsiona mudanças positivas e sustentáveis em todos os continentes. Com vendas e receitas de 60,1 bilhões de dólares em 2011, a Caterpillar é líder em tecnologia e líder mundial na fabricação de equipamentos de construção e mineração, motores diesel limpo e a gás natural, além de turbinas industriais a gás..

Comunidade On-line: cat.com/powergeneration

Linkedin: linkedin.com/showcase/cat-electric-power/

Facebook: facebook.com/Caterpillar.Electric.Power

YouTube: youtube.com/CatPowerGeneration

BUILT FOR IT.™

LPXE0595-00 Fevereiro de 2013

© 2017 Caterpillar. Todos os Direitos Reservados. CAT, CATERPILLAR, BUILT FOR IT, suas respectivas logomarcas, o "Caterpillar Yellow", a apresentação comercial "Power Edge", bem como a identidade corporativa e dos produtos aqui mencionados são marcas comerciais da Caterpillar e não podem ser usados sem permissão.