

Process Automation

# Conservação de energia

## A análise Fingerprint de uma máquina de papel reduz os consumos energéticos





CARL-FREDRIK LINDBERG, NAVEEN BHUTHANI, KEVIN STARR, ROBERT HORTON – À entrada de uma máquina de papel, a matéria-prima para a produção de uma folha A4 tem o aspecto de um balde de água um bocadinho suja: com efeito, contém mais de 99 por cento de água e menos de um por cento de fibras. Embora no fabrico do papel a maior parte da água seja eliminada por meios mecânicos, uma parte significativa é-o por meios térmicos – dando origem a uma utilização colossal de energia que torna o fabrico de papel um dos processos industriais mais intensivos em termos energéticos. Como reverso desta medalha, a existência destes elevados consumos constitui uma oportunidade para poupanças significativas. É esta a razão da oferta pela ABB da análise Fingerprint para as máquinas de papel, a qual quantifica os fluxos de energia e compara a utilização de energia na máquina de papel, permitindo a identificação de oportunidades de poupança.

Embora os princípios do fabrico do papel pouco tenham mudado ao longo dos séculos, o equipamento utilizado para esse fim evoluiu drasticamente. Numa máquina moderna, uma suspensão aquosa contendo menos de um por cento de fibras é depositada sobre uma tela contínua em movimento, perdendo aí alguma água por escorrência ou aspiração. A teia de fibras resultante, com elevado teor de humidade, é transportada seguidamente para a secção de prensagem, onde é comprimida entre rolos cilíndricos para uma remoção adicional de água →1. A eficiência deste processo aumenta com o aquecimento prévio das fibras por meio de vapor, numa caixa de vapor. A teia segue depois para a secção de secagem, onde contorna parcialmente uma série de cilindros, também aquecidos a vapor, num trajecto tipo serpentina. Este processamento reduz o conteúdo de água para cerca de seis por cento.

Em termos energéticos, a prensagem é muito mais eficiente na remoção de água do que a secagem, mas apresenta limitações quanto à quantidade de água que consegue extrair. É assim inevitável a utilização de energia térmica – e é aqui que a factura energética dispara. Contudo, estes elevados consumos energéticos representam também oportunidades para poupanças significativas.

---

#### Título da imagem

A produção de papel consome enormes quantidades de vapor para a sua secagem. Como obter poupanças substanciais a partir de uma análise crítica dos fluxos energéticos?



A existência de elevados consumos energéticos representa uma oportunidade para poupanças significativas.

### Fluxos Energéticos

Na secção de secagem tem lugar um complexo conjunto de trocas de energia envolvendo o vapor, os condensados, o ar, a água e o papel. O papel seca nos cilindros, aquecidos a vapor, e o calor do vapor libertado é recuperado num permutador de calor e adicionado ao ar de entrada, o qual é adicionalmente aquecido por um permutador de calor vapor ar. O ar que entra no recinto onde se situa a máquina é também aquecido. O vapor aquece os cilindros de secagem e algum do vapor de expansão é recuperado por termocompressores. O restante vapor de expansão entra no condensador, onde aquece água de baixa temperatura →2.

O grande desafio desta complexa interacção é identificar onde ocorrem os desperdícios de energia e que poupanças podem ser conseguidas.

Medir e melhorar desta forma o desempenho energético das máquinas de papel não é uma ideia nova, e várias abordagens têm sido sugeridas na literatura [1,2]. Entre outras, foi descoberto que a ventilação das bolsas de ar, o equilíbrio e o ponto de orvalho da hote da secadora têm uma influência significativa na eficiência [3, 4, 5, 6, 7].

Vários aspectos podem influenciar a eficiência energética:

- Tipo de equipamento (eficiência do projecto e estado da máquina)
- Falta de equipamento (p.ex., permutador de calor ou caixa de vapor)
- Concepção da instalação industrial (e.g., utilização/desperdício de vapor e de condensados, sistema de recuperação de calor)

- Estratégia de controlo (p.ex., falta de controlo do ponto de orvalho)
- Operação (controlo manual, escolha do ponto de operação)
- Manutenção (de permutadores de calor, purgadores, válvulas, sensores, isolamentos, fugas, ponto de operação dos sistemas de controlo, etc.)
- Sensores (calibração, falta de sensores para monitorização e/ou controlo)

### Métodos

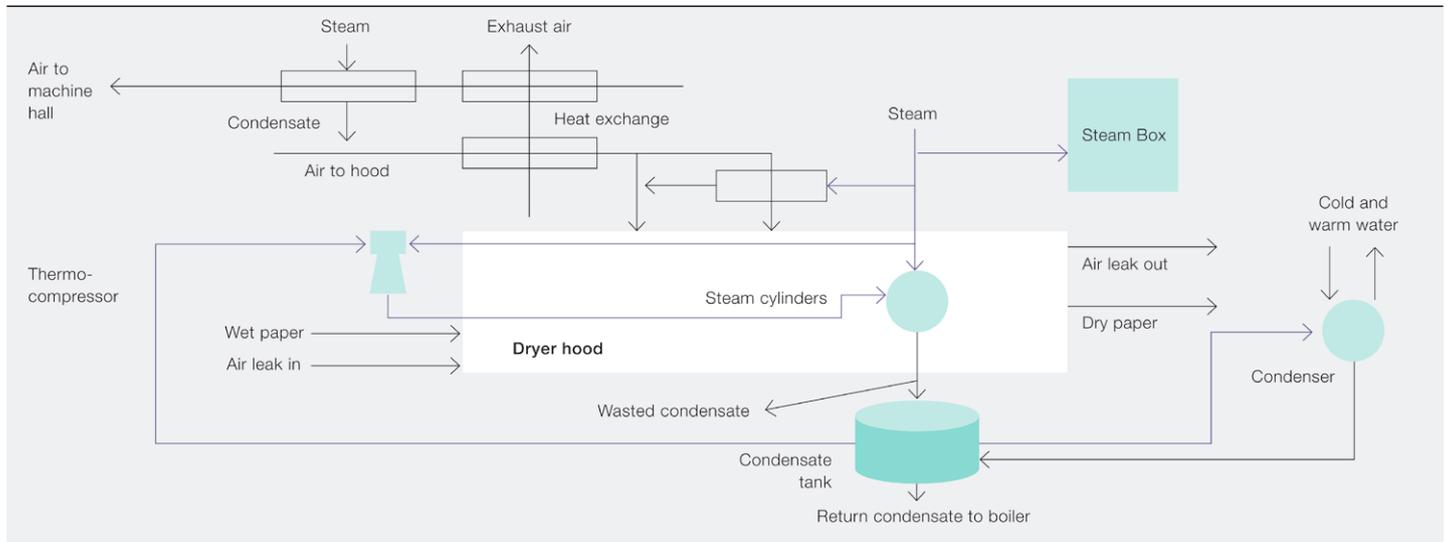
Existem vários métodos disponíveis para a identificação das ineficiências no uso da energia.

### Quantificação energética

O conhecimento dos fluxos energéticos no interior da máquina de papel permite a identificação de circuitos de desperdício. Os fluxos de energia são de mais difícil medição do que os fluxos de líquidos ou de gases, em particular devido à necessidade de um maior número de medições e ao facto de só estarem disponíveis muito poucas medições necessárias ao cálculo de energia; acresce que são particularmente raros os sensores de caudal de vapor existentes.

Numa máquina de papel em operação, o caudal do vapor que entra para os grupos de vapor foi estimado interrompendo o fluxo de efluentes dos tanques de condensados e medindo a taxa de subida dos seus níveis interiores. O consumo de vapor nos permutadores de calor vapor ar foi estimado a partir de medidas do caudal de ar, da humidade e da temperatura. A utilização de equações que descrevem as trocas energéticas, juntamente com os resultados das medições, permitiu chegar ao consumo relativo de energia →3.

## 2 Visão de conjunto dos fluxos energéticos numa máquina de papel.



A principal utilização do vapor ocorre, como esperado, nos diferentes grupos de vapor, mas na máquina de papel em causa mais de dez por cento da energia total do vapor vai para o condensador. Um valor típico na indústria seria inferior a três por cento, sendo portanto aqui obviamente viável uma melhoria da eficiência energética.

### Data mining

Uma pesquisa de dados históricos permite identificar operações que influenciaram a quantidade de vapor consumida por tonelada de papel. Para este fim, os dados são primeiramente agrupados por tipo de papel. Seguidamente, para cada tipo são registados graficamente vários sinais em função do consumo de vapor por tonelada de papel produzido. No caso de detecção de uma relação clara entre alguns destes sinais e a eficiência energética, é então possível fazer sugestões para operação da máquina a um nível maior de eficiência. No futuro, tal pesquisa poderá ser automatizada.

A partir da análise de dados reais de uma máquina de papel específica foi estimada a quantidade de vapor (em toneladas) consumida por tonelada de papel seco produzido. O consumo de vapor variou em função da gramagem do papel entre 1,8 e 2,4 → 4. Nesta máquina particular a gramagem tem aparentemente um elevado impacto na eficiência de vapor, uma vez que a produção de papéis mais pesados consome menos vapor por tonelada de papel do que a de papéis mais leves.

Outra variável que influenciou o consumo de vapor foi a velocidade da máquina. Em geral, quanto maior a velocidade, menor a quantidade de vapor utilizado → 5. As gramagens mais leves apresentam uma relação menos forte entre a eficiência e a velocidade, talvez devido a concentração periférica do condensado nos cilindros de vapor ou a capacidade limitada na secção das prensas a velocidades mais elevadas.

Outros parâmetros que influenciaram a eficiência foram a pressão diferencial entre os grupos de vapor (quanto menor, melhor) e a refinação (menos, se possível).

### Optimização das caixas de vapor

O aquecimento da tela de papel por vapor reduz o seu consumo total de vapor, pois na secção de prensagem a água é mais facilmente extraída quando o papel se encontra quente. Consequentemente, a secção de secagem necessita de menor quantidade de vapor para a eliminação da humidade remanescente. Contudo, a injeção de demasiado vapor nas caixas de vapor não melhora a eliminação da água. O ajuste do caudal da caixa de vapor para a pressão óptima minimiza o caudal total de vapor. É de notar que a caixa de vapor é também utilizada para equalizar o perfil de humidade ao longo da tela, não devendo as medidas tomadas para eliminação de água interferir neste processo.

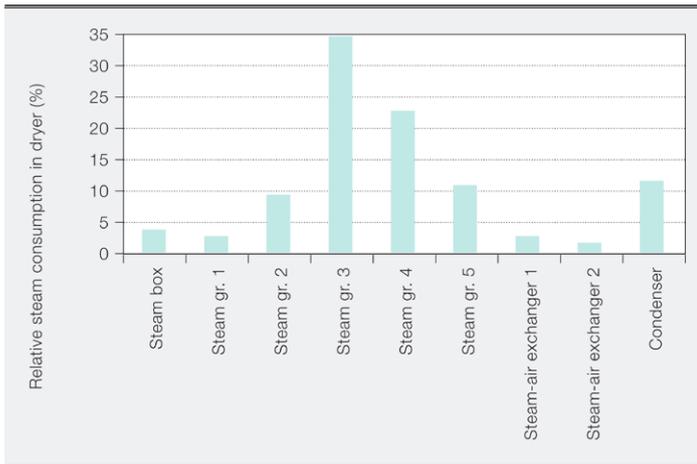
Numa experiência realizada numa caixa de vapor → 6, a pressão do vapor na caixa foi primeiramente reduzida, tendo seguidamente os actuadores sido colo-

O grande desafio é identificar onde nesta complexa interacção ocorrem os desperdícios de energia e que poupanças podem ser conseguidas.

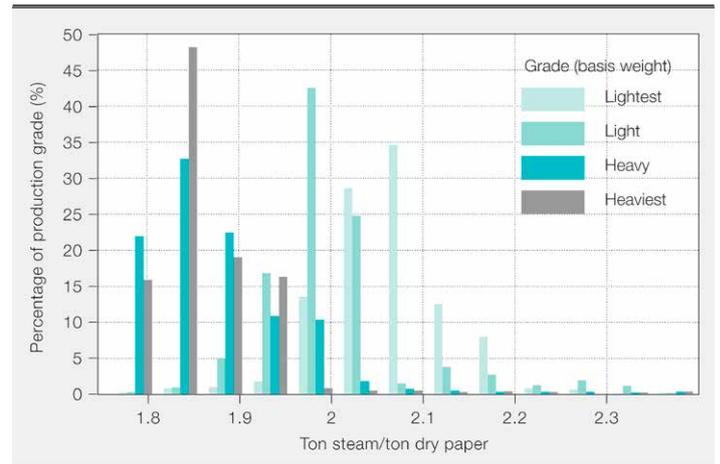
cados a uma abertura de 80 por cento e a pressão lentamente aumentada e depois parcialmente reduzida. O consumo total de vapor na máquina de papel (curva superior) atingiu um mínimo após 80 minutos, com um valor de cerca de uma tonelada por hora (cerca de 2,5 por cento) menos do que em operação normal. A velocidade da tela foi mantida constante durante a experiência e o menor consumo total de vapor ao fim dos 80 minutos não foi obtido à custa de um maior nível de humidade.

O perfil de humidade ao longo da folha (não representado) deteriorou-se, como esperado, com maiores níveis na periferia quando todos os actuadores foram abertos. Ficam por determinar as poupanças no consumo de vapor quando em operação com controlo automático do perfil de humidade.

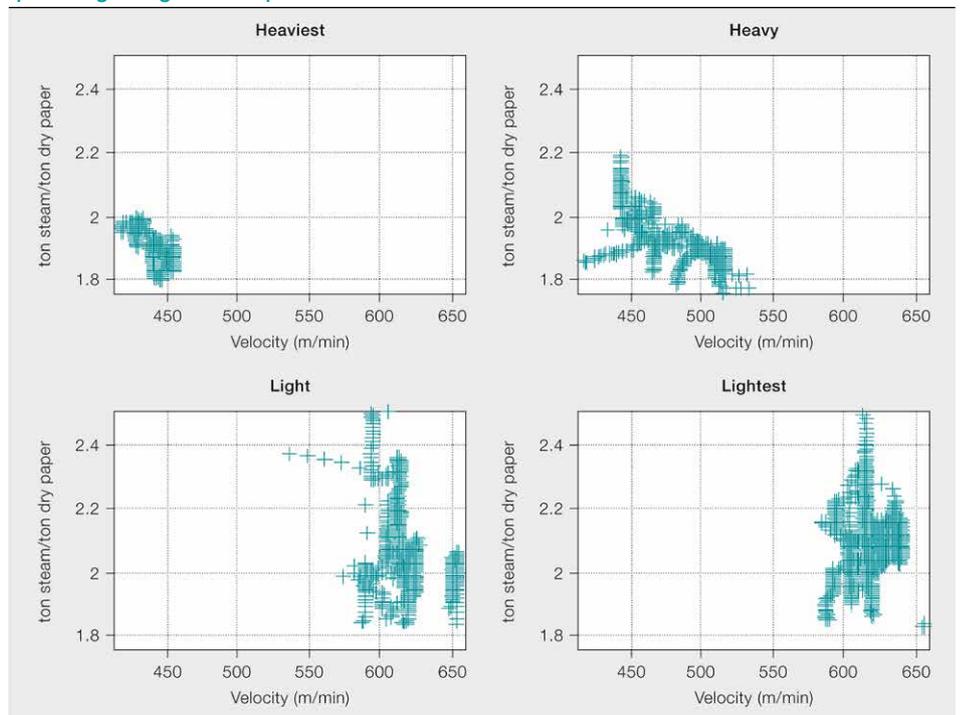
### 3 Consumo relativo de vapor na secção de secagem de uma máquina de papel.



### 4 Histograma da tonelada de vapor consumido por tonelada de papel seco produzido (ao longo de um período de 19 dias, para várias gramagens).



### 5 Tonelada de vapor consumido por tonelada de papel seco em função da velocidade do papel, para várias gramagens. Uma velocidade elevada apresenta maior eficiência energética para as gramagens mais pesadas.



#### Termografia de infravermelhos

As fugas de calor e os problemas de equipamento associados reduzem a eficiência energética. Tais problemas podem ser localizados através de imagem térmica. Os cilindros e a hote da secadora, o termostato, os purgadores de vapor e de condensados, etc., têm sido estudados por meio desta técnica.

Por exemplo, um termograma de uma secção da hote da secadora revelou uma fuga de ar aquecendo o seu exterior (o ar quente em si não é detectável por imagem térmica) → 7. A eliminação da fuga iria permitir poupanças de energia e redução do teor de humidade do ar na zona da máquina, por sua vez levando a redução da quantidade de humidade a ser removida pela ventilação e a poupanças adicionais de vapor através de um menor aquecimento do ar exterior.

Um termograma de um termostato permitiu também a detecção de ineficiências → 8. Na parte inferior da figura, o vapor de expansão, mais frio, entra a uma temperatura de 124,6 °C e o vapor motriz, a alta pressão, entra pelo lado direito a 149,9 °C. A mistura dos dois fluxos tem uma temperatura de 147,5 °C, próxima da do vapor motriz, e portanto muito pouco vapor de expansão é reciclado. Seria possível obter poupanças adicionais recuperando mais vapor de expansão e reduzindo o caudal para o condensador.

Outra forma de análise do termostato consiste em estudar o consumo total de vapor ou a carga no condensador quando este é desligado. Quando esta operação foi realizada, não foi observada qualquer alteração no consumo total de vapor ou na carga no condensador.

#### Avaliação energética

Foram avaliados vários parâmetros para a determinação da eficiência energética da máquina, tais como:

- Tonelada de vapor / tonelada de papel seco
- Energia do vapor (J) / água evaporada (kg)

– Electricidade consumida (kW h) / papel produzido (ton)

– Taxa de retorno do condensado à central de energia

– Ponto de orvalho na hote da secadora (ar evacuado)

– Consistência das folhas após a secção de prensagem

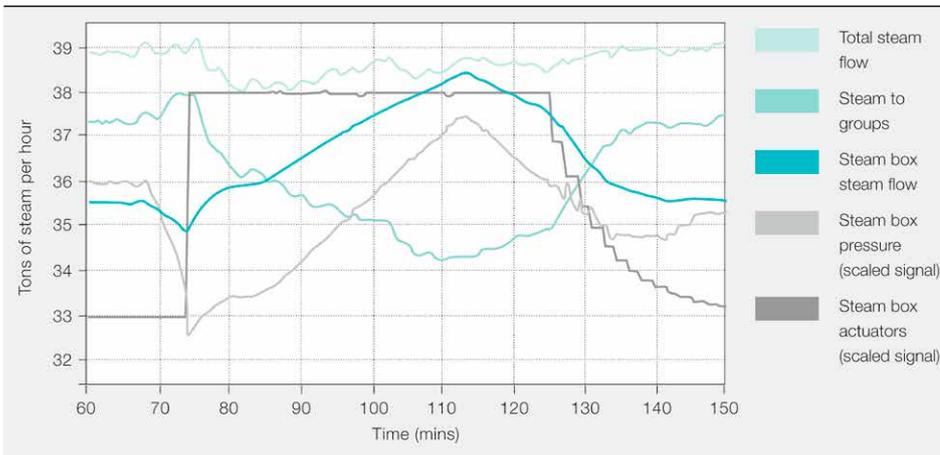
– Disponibilidade (tempo operacional / tempo total)

– Desempenho (velocidade real / velocidade máxima para a gramagem de papel em causa)

– Qualidade (toneladas produzidas com a qualidade esperada/ total)

– Eficácia global do equipamento

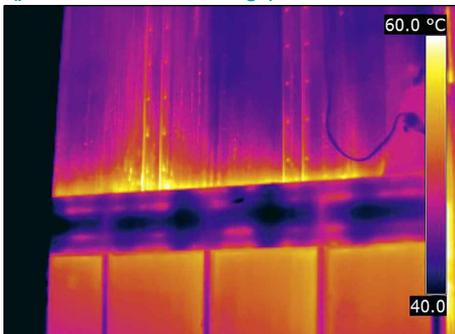
## 6 Experiência com a caixa de vapor. De notar um menor consumo de vapor (curva superior) em t=80.



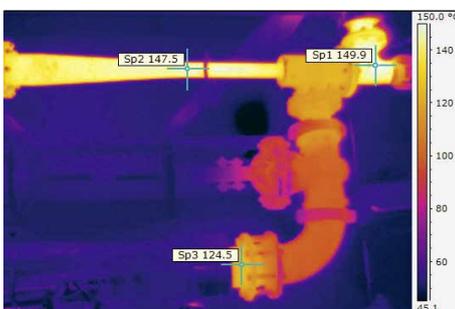
**Carl-Fredrik Lindberg**  
ABB Corporate Research  
Västerås, Suécia  
carl-fredrik.lindberg@se.abb.com

**Naveen Bhuthani**  
ABB Corporate Research  
Bangalore, Índia  
Naveen.bhuthani@in.abb.com

## 7 Termograma de uma parte da hote com uma fuga de ar quente e húmido (por cima da zona da fuga).



## 8 Termograma de um termo compressor.



O vapor de expansão, mais frio, entra a uma temperatura de 124,6 °C e o vapor motriz, a alta pressão, entra pelo lado direito a uma temperatura de 149,9 °C. A mistura dos dois fluxos tem uma temperatura de 147,5 °C, próxima da do vapor motriz, e portanto muito

Estes e outros indicadores de desempenho podem ser comparados com os de outras máquinas produzindo o mesmo tipo de papel. A detecção de um indicador desfavorável identifica uma oportunidade para poupanças de energia.

### Outras experiências

A discussão apresentada nas secções anteriores não é exaustiva – existem outras experiências que poderiam ser realizadas para a identificação de áreas de poupança de vapor.

### 7 Conservação de energia

– Aumento da tensão da tela para melhoria da taxa de transferência de calor e redução do consumo de vapor.

– Redução do vapor sobreaquecido, para um aumento da eficiência dos cilindros de vapor.

### Muitas oportunidades de poupança

As máquinas de papel consomem elevadas quantidades de energia mas, na maioria dos casos, é possível também conseguir elevadas poupanças. A quantificação do fornecimento e da utilização do vapor permite a medição das ineficiências, a identificação de consumidores de energia pouco eficientes e a implementação de soluções.

Uma auditoria realizada a uma máquina de papel identificou as seguintes poupanças potenciais de vapor:

– 2,5 por cento de poupança de vapor, por aumento da velocidade dos rolos  
– 2,5 por cento de poupança de vapor, por optimização da pressão nas caixas de vapor

– 2 a 8 por cento de poupanças no condensador, por reparação e/ou melhoria da operação dos termo compressores, redução da pressão diferencial entre os grupos de vapor e uma melhoria no controlo da pressão em geral

– Alguns pontos percentuais adicionais, por eliminação de fugas na hote da secadora e nos sistemas de ventilação, menor refinação (se possível), aumento da tensão da tela, aumento do ponto de orvalho, redução do sobreaquecimento do vapor, etc.

Uma simples optimização do ponto de operação do sistema de controlo pode reduzir o consumo de vapor em 5 por cento. Com investimentos limitados, é possível obter uma poupança de cerca de 10 por cento.

### Kevin Starr

ABB Process Automation Services  
Westerville, OH, Estados Unidos da América  
kevin.starr@us.abb.com

### Robert Horton

ABB Optimization Service  
Atlanta, GA, Estados Unidos da América  
robert.horton@us.abb.com

### Referências

- [1] Kuvalekar D. (2007). Reducing Specific Steam Consumption through Automation in Steam Systems. Proceedings of Paperex 2007, New Delhi, Índia, 7–9 Dezembro 2007.
- [2] Reese D. (2009). Measuring Paper Machine Energy Performance. Proceedings of PaperCon '09, 31 Maio – 3 Junho, St. Louis, MO, EUA, 2009.
- [3] Ghosh A. K. (2009). A Systematic Approach to Optimise Dryer Performance and Energy Savings – Case Studies. Proceedings of PaperCon '09, 31 Maio – 3 Junho, St. Louis, MO, EUA, 2009.
- [4] Ghosh A. K. (2005). Optimization of Paper Machine Dryer Section. Proceedings of 7th International Conference on Pulp, Paper and Conversion Industry, PAPEREX 2005, New Delhi, 2005.
- [5] Kilponen L. (2002). Improvement of Heat Recovery in Existing Paper Machines. Licentiate thesis, Department of Mechanical Engineering, Espoo, Helsinki University of Technology, 2002.
- [6] Lindell K. and Stenström S. (2004). Assessment of Different Paper Drying Processes to Reduce the Total Energy Costs from a Mill Perspective. Drying 2004 – Proceedings of the 14th International Drying Symposium, São Paulo, Brazil, 22-25 Agosto 2004, vol. 1233-1240.
- [7] Sivill L. and Ahtila P. (2009). Energy efficiency improvement of dryer section heat recovery systems in paper machines – A case study. Applied Thermal Engineering, 29 (17–18), 3663-3668, Dezembro 2009.

# Contacte-nos

## **ABB, S.A.**

**Tel. 24 horas: 963 025 684**

Rua Aldeia Nova, s/nº

4455-413 Perafita

Tel.: +351 229 992 500

Fax: +351 229 992 572

Estrada de Eiras, 126 r/c

3020-199 Coimbra

Tel: +351 239 495 258

Fax: +351 239 495 260

Quinta da Fonte, Edifício Plaza I

2774-002 Paço de Arcos

Tel: +351 214 256 000

Fax: +351 214 256 247

**[contactos.clientes@pt.abb.com](mailto:contactos.clientes@pt.abb.com)**

**[www.abb.pt](http://www.abb.pt)**