

Automação de sistema hidráulico em edificações verticalizadas e seus reflexos na eficiência energética da instalação

Automation of hydraulic systems vertical buildings and its effects in energetic efficiency of installation

Oswaldo Ribeiro da Cruz Filho

, D. Sc. (1)
Engenheiro. Centro Federal de Educação Tecnológica – CEFET/RJ.
Rio de Janeiro, RJ
osvaldocruz@globo.com

Eduardo Linhares Qualharini

, D.Sc. (2)
Engenheiro. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.
Rio de Janeiro, RJ
qualharini@all.com.br

O uso de componentes que permitam realizações de tarefas na automação de sistemas de infra-estrutura torna o arquiteto parte integrante do processo, devendo ter conhecimento desses sistemas para poder administrar as necessidades espaciais no projeto da edificação verticalizada. O sistema de sucção e recalque de água tratada nas edificações deve acompanhar a tecnologia que pode ser utilizada e que evoluiu consideravelmente nos últimos anos. A conscientização, no meio profissional, da necessidade cada vez mais precisa e rigorosa com dispositivos e componentes, que permita automatizar sistemas de transporte de fluidos, visando à eficiência, durabilidade e custos reduzidos, permitirão exigências de projetos objetivos com alto índice técnico e com perfeição cada vez maior na integração das instalações hidráulicas com a Arquitetura e a estrutura da edificação. Este trabalho mostra que, utilizando a automação, é possível eliminar o reservatório superior de acumulação de água em edifícios, minimizando o consumo de energia e permitindo à Arquitetura melhor aproveitamento do espaço da cobertura da edificação.

Palavras-chave: Automação predial. Edificações inteligentes.
Reabilitação de edificações.

The use of components that allow accomplishments of tasks in the automation of infrastructure systems turns the architect integral part of the process, should have knowledge of these systems to administer the space needs in the project of the vertical construction. The suction system and repress of water treated in the constructions should accompany the technology that can be used and which developed considerably in the last years. The understanding, in the professional middle, of need more and more exact and rigorous with devices and components, that allows to automate systems of transport of fluids, with efficiency, durability and reduced costs, they will allow demands of objective projects with high technical index and with perfection in the integration of the hydraulic facilities with the Architecture and the structure of the construction. This work shows that using the automation is possible to eliminate the superior reservoir of accumulation of water in buildings minimizing the consumption of energy, and allowing the Architecture better use of the space of the covering of the construction.

Key words: Building automation. Intelligent buildings.
Rehabilitation of buildings.



1 Introdução

1.1 Sistema indireto de distribuição

O sistema de sucção e recalque de água tratada nas edificações deve acompanhar a tecnologia que pode ser utilizada e que evoluiu consideravelmente nos últimos anos. A conscientização, no meio profissional, da necessidade cada vez mais precisa e rigorosa com dispositivos e componentes, que permita automatizar sistemas de transporte de fluidos, visando à eficiência, durabilidade e custos reduzidos, permitirão exigências de projetos objetivos com alto índice técnico e com perfeição cada vez maior na integração das instalações hidráulicas com a Arquitetura e a estrutura da edificação.

Como a pressão da rede de abastecimento pública é insuficiente para abastecer um reservatório elevado, instalado no ponto mais alto da edificação, é construído um reservatório inferior, abaixo da cota do piso térreo da edificação, de onde será efetuada a sucção e recalque da água acumulada. Nessa situação, as seguintes vertentes podem ser utilizadas:

- a) construção de um reservatório superior para receber a água recalçada e efetuar a distribuição interna por gravidade;
- b) instalação de um reservatório hidropneumático em aço para receber água do reservatório inferior, a qual será pressurizada por meio de um compressor de ar e recalçada até o barrilete para, então, ser distribuída internamente, e
- c) utilização de conjunto moto-bomba acionado por inversor de frequência que, sob ação de controladores de pressão, fará a variação na rotação da bomba, variando a vazão de água recalçada para ser distribuída internamente.

As condições de construção e montagem tratadas acima nos itens a e b resultam na utilização de sistemas de controle e de alimentação elétrica dos motores, feitas pelos meios tradicionais, isto é, uso de válvula de flutuador (bóias elétricas) e contatores elétricos para acionamento do conjunto moto-bomba, em que não há preocupação com consumo de energia elétrica, pois o sistema não contribuiu para o gerenciamento da energia elétrica. (CRUZ FILHO; QUALHARINI, 2006).

Já o sistema descrito no item c permite, por meio da tecnologia utilizada nos inversores de frequência, o gerenciamento da energia elétrica.

1.2 Inversor de frequência para controle de vazão

O inversor de frequência é um equipamento elétrico capaz de produzir uma variação dos valores da frequência elétrica da rede de alimentação de um motor, produzindo uma variação de sua rotação ou velocidade (BRITO, 2006). A construção do motor elétrico é dependente do número de pares de pólos magnéticos e da frequência da rede, que será alimentado para definir a rotação ou velocidade de seu funcionamento. A equação 1 fornece a rotação de sincronismo, em rotações por minuto (rpm), para um motor elétrico.

$$\eta_s = \frac{60 \times f}{\frac{P}{2}} = \frac{120 \times f}{p} \quad (1)$$

$\frac{P}{2}$ = n°. de pares de pólos do motor elétrico;

p = n°. de pólos do motor elétrico;

f = frequência da rede elétrica de alimentação.

Os motores elétricos assíncronos apresentam, construtivamente, velocidades de rotação entre 2% a 5% menores que as respectivas velocidades

de sincronismo. De maneira a possibilitar a operação do motor com torque (força aplicada num eixo que provocará a rotação do mesmo) constante em diferentes velocidades, será necessário variar a voltagem proporcionalmente com a variação da frequência da rede elétrica.

De acordo com a equação 1, se variarmos a frequência da rede de energia elétrica, a rotação de sincronismo irá variar.

1.2.1 Controle escalar

O funcionamento dos inversores de frequência com controle escalar diz respeito à relação V/F constante, isto é, nessa relação é mantido o torque do motor constante, igual ao nominal, para qualquer velocidade de funcionamento do motor (MASCHERONI, 2004). O motor de indução possui bobinas com dois parâmetros para definirem suas características, ou seja, a resistência ôhmica R [Ohm] e a sua indutância L [Henry]. A resistência é dependente do tipo de material utilizado (cobre) e do comprimento do fio com o qual será feita a bobina. Já a indutância depende da forma (geometria) que será dada à bobina.

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \quad (2)$$

$$I = \frac{V}{\sqrt{(R^2 + X_L^2)}} \quad (3)$$

Para valores de frequência acima de 30 Hz o valor da resistência é muito pequeno comparado com o da reatância indutiva (X_L), sendo desprezado. Nessa aproximação, teremos o valor da corrente sendo diretamente proporcional à voltagem de alimentação “V” e inversamente proporcional à indutância “L” e a frequência “f”. Como a indutância é uma constante do motor dependente da construção da bobina, os parâmetros

que poderão ser controlados pelo inversor serão voltagem e frequência.

O controle V/F constante muda a voltagem proporcionalmente com a variação da frequência de alimentação do motor, para obter uma corrente constante da ordem da corrente nominal, como mostrado no gráfico 1.

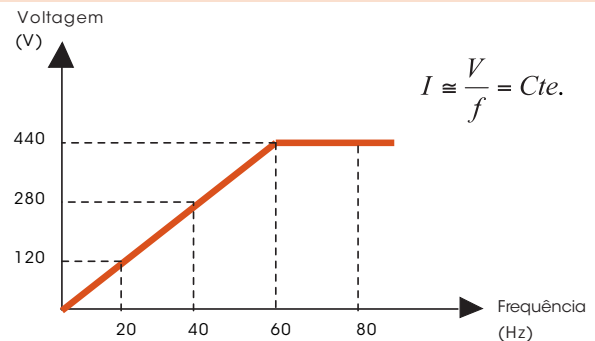


Gráfico 1: Controle escalar

Fonte: Mascheroni, 2004.

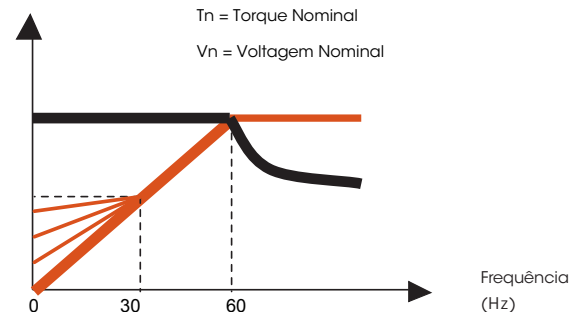


Gráfico 2: Compensação da corrente

Fonte: Mascheroni, 2004.

Para frequências abaixo de 30 Hz, a resistência “R” que foi desprezada, apresenta agora influência na corrente elétrica. Assim, mantendo-se a proporcionalidade entre a frequência e a voltagem, a corrente e o torque do motor irão diminuir. Para que isso seja evitado, a voltagem em baixas frequências deve ser aumentada como mostrado no gráfico 2.



2 Controle da vazão

O controle da vazão pode ser efetuado por dois meios: válvula de estrangulamento ou controle da rotação da bomba, sendo que, a vazão também pode ser controlada por meio da re-circulação ou da mudança do diâmetro do rotor da bomba (DUTRA, 2006).

Os fatores que irão alterar a curva característica do sistema podem ser descritos como: natureza do líquido (peso específico, densidade), temperatura do líquido, variação da altura estática, pressão do reservatório e características das tubulações e acessórios. A instalação de válvula de estrangulamento na tubulação de saída da bomba permitirá alterar a vazão pela redução do diâmetro e conseqüentemente provocar aumento da resistência na curva do sistema. Nessa situação, a rotação da bomba fica inalterada e a potência consumida aumenta para poder suprir o aumento de carga. A vazão inicial varia até o novo ponto de trabalho assim como a altura manométrica. A diferença entre as alturas inicial e final representa o aumento de potência consumida pela bomba para controle da vazão.

Quando a rotação da bomba varia, surge um conjunto de curvas paralelas, que representam a operação da bomba para a velocidade resultante daquela rotação, sem que isso afete a curva do sistema. Nessa condição, não há acréscimo na perda de carga representada pela altura manométrica; ao contrário, a resistência para a vazão é menor. Existe uma relação de proporcionalidade entre a rotação da bomba (N), a vazão solicitada (Q), a altura manométrica total (H) e a potência consumida pela bomba (P) (OLIVEIRA; ALVES 2002).

Como a potência consumida pela bomba varia com o cubo da rotação, quanto menor a rotação, menor a potência no eixo da bomba e menor a potência de saída do motor.

A potência consumida é proporcional ao cubo da rotação:

$$\frac{P}{P_1} = \left(\frac{N}{N_1} \right)^3$$

(4)

O transmissor de pressão é o instrumento utilizado no monitoramento contínuo da pressão em processos envolvendo líquidos em tubulações. A pressão é medida por meio de um transdutor piezoresistivo, que converte a força exercida pelo fluído sobre o diafragma em um sinal diretamente proporcional à sua intensidade e que é, então, enviado a um circuito eletrônico. Um sinal analógico de 4 a 20 mA (a 2 fios) é gerado pelo circuito, sendo proporcional ao valor da pressão. Para se medir a pressão nos processos envolvendo líquido na tubulação é utilizado o manômetro.

2.1 Sistema de controle automatizado para recalque de água

Para poder ser retirada a carga estática que representa o reservatório superior para acumulação de água, na determinação da carga distribuída na edificação minimizando os custos da construção, o controle automatizado do sistema de recalque de água, com o uso de controle de velocidade variável no motor acionador da bomba, permitirá manter o sistema hidráulico com as vazões variáveis conforme a necessidade do sistema. Dessa maneira, o controle da variação da rotação da bomba para recalque funcionará como um regulador da distribuição pelo sistema hidráulico (CRUZ FILHO; QUALHARINI, 2008).

A utilização de sistema pressurizado permite efetuar a distribuição de água pela edificação, sendo desnecessário utilizar reservatório de acumulação superior. Na linha de tubulação de saída do recalque de água, deve ser instalado um manômetro de maneira que este instrumento

permita manter a indicação de que a linha está pressurizada e regulada (*Setpoint*). Na mesma linha de tubulação, também será instalado um transmissor de pressão, o qual receberá informação da pressão da linha e informará, por meio de envio de sinal analógico (4 a 20 mA) ao elemento de controle, o inversor de frequência, a necessidade de fazer a rotação do motor variar para que a bomba possa recalcar a vazão solicitada pelo sistema, indicada no manômetro, pela queda de pressão na rede hidráulica.

Como o sistema necessita ser pressurizado, a instalação de um tanque pulmão, na linha de saída para o barrilete de distribuição, permitirá efetuar o efeito mola reguladora quando da variação de pressão na linha de distribuição de água. Esse sistema dispensa a necessidade de reservatório elevado que produz pressão na rede hidráulica equivalente a sua altura geométrica. A compressibilidade do ar retido no tanque faz com que haja expansão deste quando a água é distribuída pelo sistema, comprimido novamente quando a bomba inicia o recalque e alimentando o tanque com mais água. Como o ar retido no interior do tanque é dissolvido na água quando em contato com esta, é necessário separar a água do ar ou, então, repor o ar perdido. Nessa condição, duas soluções podem ser utilizadas: uso de tanque pré-carregado de ar com bolsa separadora para a água ou tanque com carregador de ar no qual inexistente barreira separadora de água e ar, necessitando de compressor para manter o volume correto de ar em seu interior.

O sistema de pressurização, mostrado na Figura 1, de dois conjuntos moto-bomba para recalque de água possui um manômetro para indicação da pressão na tubulação e dois transmissores de pressão, em que cada um deles envia sinal para o inversor de frequência que controla a rotação do motor, quando há variação de pressão na rede hidráulica. Nesse sistema, cada moto-bomba traba-

lha para uma faixa de pressão, de maneira que a moto-bomba 1 irá operar quando ocorrem variações na pressão da rede dentro da faixa regulada pelo transmissor de pressão.

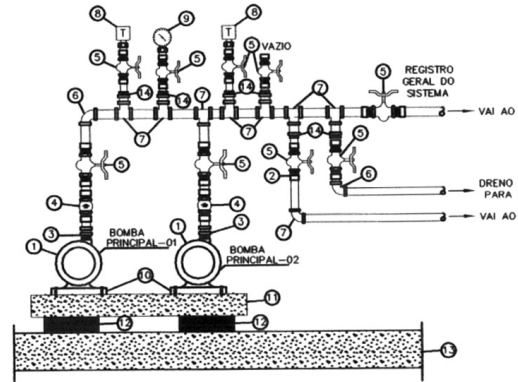


Figura 1: Montagem de sistema de pressurização

- | | |
|-------------------------------|----------------------------|
| 1 - Conjunto moto-bomba | 8 - Transmissor de pressão |
| 2 - Tubo de ferro galvanizado | 9 - Manômetro |
| 3 - União | 10 - Manta de neoprene |
| 4 - Válvula de retenção | 11 - Base de concreto |
| 5 - Registro gaveta | 12 - Calços |
| 6 - Curva 90° | 13 - Piso |
| 7 - T de 90° | 14 - Bucha de redução |

Fonte: Os autores.

Assumindo que a altura manométrica solicitada fosse de 62,38 mca (metros de coluna de água), a primeira moto-bomba ficaria com o sinal limite do transmissor para 60 mca. Se a pressão cair e com o envio de sinal do inversor a primeira moto-bomba estiver imprimindo sua rotação máxima e a vazão necessária não for suprida, o transmissor de pressão da segunda moto-bomba envia sinal para o seu acionamento, de maneira que sua velocidade será função da complementação da vazão necessária para suprir o sistema hidráulico, isto é, o motor é acionado em rotação mais baixa, flutuando nessa rotação para cima e para baixo, até o equilíbrio do sistema. Quando a pressão é novamente alcançada, a segunda moto-bomba é desligada, e cessada a vazão, a primeira moto bomba é desligada. Esse sistema, além de



retirar a carga estática do reservatório superior, libera espaço na cobertura da edificação para que a Arquitetura possa efetuar o melhor aproveitamento desse espaço. Como o motor do sistema não trabalha com partidas em que a voltagem aplicada a ele é plena, a própria voltagem fornecida pelo sistema de energia, a corrente por ele solicitada no instante da energização, é muito menor do que a corrente com ligação sem inversor de frequência. Assim, o consumo de energia ao fim de um mês de utilização é menor que o consumo com o sistema que tem acionamento com plena tensão da rede de energia elétrica.

3 Simulação física do controle de vazão no recalque de água

Nas Figuras 2, 3 e 4 são mostradas as simulações feitas em bancada de teste na empresa Iguatemi Bombas, na cidade do Rio de Janeiro, firma que presta manutenção e montagem em sistemas de bombeamento hidráulico para edificações, em que foi colocado o sistema de pressurização da rede hidráulica controlado por transmissor de pressão acoplado a inversor de frequência, no acionamento do motor da bomba para recalque de água.



Figura 2: Motor-bomba

Fonte: Os autores.



Figura 3: Tanque pulmão

Fonte: Os autores.



Figura 4: Manômetro e Transmissor de pressão

Fonte: Os autores.

Nessa simulação, trabalhou-se com uma pressão de 2 Kgf/cm^2 (*Setpoint*) estabilizada para manter a rede pressurizada, equivalendo a 20 mca. Nessa condição, o transmissor envia sinal de 4 mA para o inversor informando que a rotação do motor deve ser zero, ou seja, inversor desligado. Abrindo-se um pouco o registro gaveta, a água sai da tubulação, inicia a vazão e, com isso, a pressão na rede cai para um valor abaixo de 2 kgf/cm^2 , que corresponde ao valor ajustado no manômetro. O transmissor de pressão (do tipo piezo-resistivo) mede a pressão do processo por meio de um elemento denominado diafragma, que se encontra em contato direto com o fluido e, à medida que a pressão varia, é pressionado com

intensidade proporcional. Um pequeno sensor localizado na parte interna do diafragma converte a variação de pressão em uma variação proporcional de resistência elétrica. Um pequeno circuito eletrônico transforma essa informação em um sinal proporcional de corrente 4-20 mA, que é enviado ao inversor de frequência. O inversor imediatamente é ligado e faz o motor girar com velocidade proporcional à variação da pressão na rede, até a estabilização do sistema. (CRUZ FILHO; QUALHARINI, 2009). Como nessa situação o motor não trabalha em sua máxima velocidade, a corrente solicitada por ele é muito menor e, dessa maneira, também o consumo de energia elétrica. Nas Figura 5, 6 e 7 estão os inversores de frequência utilizados nessa simulação.

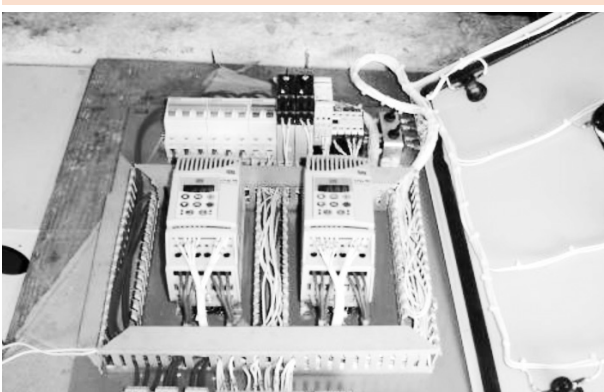


Figura 5: Quadro com inversores de frequência

Fonte: Os autores.

Na Figura 6 é mostrado no *display* do inversor que, depois de ter aberto o registro de gaveta e escoado água pelo tubo, ocorre perda de pressão no sistema, o transmissor envia sinal ao inversor, que inicia o acionamento do motor da bomba com velocidade de 208,8 rpm.

Como a velocidade de 208,8 rpm não é suficiente para que a bomba possa compensar a vazão e, logicamente, a pressão do sistema, o transmissor de pressão envia sinal proporcional ao inversor de frequência para que este aumente a rotação do motor e, igualmente, a bomba aumente a vazão de recalque, atingindo 855,6 rpm mostrado na Figura 7, estabilizando novamente o sistema e desligando o motor.



Figura 7: Inversor indicando velocidade de 855,6 rpm

Fonte: Os autores.



Figura 6: Inversor c/ velocidade de 208,8 rpm

Fonte: Os autores.

4 Utilização do sistema de pressurização

O condomínio do edifício SAN SYRO, situado na Avenida Vieira Souto, na cidade do Rio de Janeiro, por ser uma edificação de construção dos anos 1980 sofria com troca de tubulações na rede hidráulica e mantinha o sistema de sucção e recalque de água efetuado por bombas centrífugas acopladas ao motor elétrico, com acionamento a plena tensão da rede de energia elétrica. Como nesse



sistema a cada partida ocorria alta solicitação de corrente elétrica implicando em gastos maiores no consumo de energia, foi, então, em 2008, solicitado pelo condomínio um retrofit no sistema hidráulico, com a troca de tubulações em aço por tubulações de PVC e a substituição do sistema de recalque com velocidade constante da bomba, por sistema pressurizado, com bomba em velocidade variável, estabelecida pelo motor por solicitação de redução da pressão na rede.

Por se tratar de um retrofit no sistema hidráulico, foi efetuada a pressurização para atendimento das descargas de vaso sanitário, já que, nessa construção, permaneceu a utilização de descarga tipo válvula de fluxo, pois o condomínio não desejou a substituição por sistema de caixa acoplada.

O sistema hidráulico encontra-se funcionando plenamente. No entanto, não foram incorporados nesse retrofit elementos que permitissem detectar possíveis vazamentos nas tubulações. Entretanto, verifica-se que o sistema permanece inerte na maior parte do tempo de madrugada, permitindo concluir do sucesso do retrofit, que, no caso de vazamentos, não é suficiente para gerar problemas ao novo sistema de pressurização.

5 Conclusão

Os sistemas de pressurização hidropneumáticos utilizados em edificações verticalizadas serviram, durante muito tempo, como elementos que permitiam a retirada do reservatório de acumulação superior. Entretanto, por necessitarem de compressores para manter a pressão necessária da rede, e utilizando motores de velocidade fixa, tornavam-se grandes consumidores de energia elétrica, sendo restrita sua utilização.

No sistema de controle de recalque de água apresentado não é necessário o reservatório de acumulação superior, pois ele passa a ser contro-

lado pela pressão, de forma que o motor pode vir a trabalhar durante um grande período de horas. Entretanto, ele estará flutuando em variações de rotações e nunca em rotação plena, minimizando o consumo de energia e as altas correntes solicitadas pelo motor no momento de sua ligação. Isso pode ser considerado para o consumo de energia em horários de ponta, entre 17h30min e 20h30min, em que a energia chega a custar três vezes à tarifa normal. Uma redução de 10% na velocidade da bomba acarreta uma diminuição de 25% na sua potência. A necessidade de um sistema de geração de energia de emergência, para atendimento do sistema motor-bomba acionado por conversor é vital, pois em caso de perda de alimentação da concessionária, o sistema continuará funcionando plenamente. Como nesse caso, o acionamento do motor elétrico será feito pelo inversor de frequência, a solicitação de corrente na partida será reduzida, de maneira que a solicitação de potência ao gerador será menor do que em sistemas de partida com alta corrente, minimizando os custos de aquisição desse equipamento em relação ao seu uso permanente. A estrutura para a edificação ficará sem a presença da carga estática distribuída. Assim, ocorrerá à racionalização do projeto de construção civil por meio do sistema hidráulico de recalque de água.

Referências

- BRITO, A. U. *Otimização do acoplamento de geradores fotovoltaicos a motores de corrente alternada através de conversores de frequência comerciais para acionar bombas centrífugas*. Tese (Doutorado em Energia). Universidade Estadual Paulista, São Paulo. 2006.
- CRUZ FILHO, Osvaldo R.; QUALHARINI, Eduardo L. *Reabilitação de edificações residenciais com uso da automação e redução do consumo de energia elétrica*. In: *II Congresso Internacional de Recuperação, Manutenção e Restauração de Edifícios*. Rio de Janeiro: Abril, 2006.

CRUZ FILHO, Osvaldo R.; QUALHARINI, Eduardo L. Automação em edificações verticalizadas e seus reflexos na racionalização do projeto. In: *XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC*. Fortaleza, 2008.

CRUZ FILHO, Osvaldo R.; QUALHARINI, Eduardo L. Racionalização do projeto e seus reflexos, com aplicação da automação em edificações verticalizadas. In: *III Congresso de Patologia e Reabilitação de Edifícios - PATORREB*. Universidade do Porto, Portugal: Porto, 2009.

DUTRA, J.B.A. *A eficiência energética em sistemas de bombeamento de água*. São Paulo. Revista Eletricidade Moderna, SP, 2006, p.82-97

MASCHERONI, José M.; LICHTBLAU, Marcos; GERARDI, Denise. *Guia de inversores de frequência – WEG*. Jaraguá do Sul, 238 p., 2004. WEG Automação.

OLIVEIRA, L.F.C.; ALVES, A.J. *Verificação das relações de Rateaux pelo emprego de um inversor de frequência*. Campina Grande, PB. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2002, v.6, n.3, p.5523–5552.

Recebido em 19 fev. 2009 / aprovado em 17 set. 2009

Para referenciar este texto

CRUZ FILHO, O. R. da; QUALHARINI, E. L. Automação de sistema hidráulico em edificações verticalizadas e seus reflexos na eficiência energética da instalação. *Exacta*, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 241-249, 2009.

