

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CLIMATIZAÇÃO NA INDÚSTRIA TÊXTIL:  
PROPOSTA DE CLIMATIZADOR EVAPORATIVO COM PAINÉIS DE ARGILA  
EXPANDIDA**

Ygho Rufino de Lucena (UFCEG) rufinoygho@gmail.com

Williame Cordeiro da Silva (UFCEG) williame.ep@hotmail.com

Douglas Vinicius Viana Rodrigues (UFCEG) ep.douglasviana@gmail.com

Marrison Murilo de Andrade Farias (UFCEG) marrison.i9@gmail.com

**Resumo**

Um dos problemas enfrentados pelas grandes corporações nos dias de hoje está relacionado a máxima utilização de seus recursos a fim de reduzir impactos ambientais e ao mesmo tempo trazer produtividade e qualidade dentro do processo fabril. A indústria têxtil, no Brasil, vem sofrendo com as altas temperaturas do nordeste, ocasionando insatisfação e problemas de natureza ergonômica nos colaboradores. As soluções tomadas, muitas vezes, não são adequadas, gerando outros gastos relacionados à energia elétrica. Este trabalho buscará solucionar esse problema de temperatura na indústria têxtil de modo eficaz e econômico, com base na eficiência energética na indústria. A resposta sugerida a essa problemática seria a implantação de um climatizador evaporativo baseado no trabalho realizado por José Francisco vilela rosa, no programa de pós-graduação em engenharia agrícola na universidade federal de viçosa-MG no ano de 2009. Esta solução tornasse viável por ser econômica, ecológica, eficiente e eficaz.

**Palavras-Chaves:** (Eficiência Energética, Indústria Têxtil, Climatizador Evaporativo, Gestão Energética, Argila Expandida.)

**1. Introdução**

A revolução industrial foi o marco inicial para o desenvolvimento de tecnologias que utilizassem altos índices de energia. O aumento da demanda também contribuiu para o crescimento das indústrias, o consumo de energia aumentou excessivamente, sem qualquer controle ou inspeção, trouxe como consequência a redução dessas fontes vitais de energia.

O consumo atual de energia elétrica por parte das indústrias, de alcança os impressionantes 40% do total consumido, Escovar et al (2014). Esse fator torna essencial a implantação do programa de eficiência energética nas indústrias, para que um gerenciamento adequado dos recursos disponíveis seja realizado, efetivando o consumo energético.

A globalização e o surgimento da tecnologia da informação transformaram o ambiente empresarial. A competitividade passou a ser o critério de sobrevivência das empresas, que

buscam cada vez mais alternativas viáveis para superar os obstáculos encontrados e atender uma considerável demanda com qualidade, custos baixo e de forma confiável. Deste modo, considerando a energia elétrica como um dos propulsores para desenvolvimento da competitividade, a alternativa encontrada é a implantação da gestão energética na indústria. Tornando-a eficiente, custos serão reduzidos e os impactos ambientais serão diminuídos.

A indústria Têxtil, além de sofrer com os altos índices de consumo de energia, também sofre no quesito temperatura dentro do processo fabril, já que suas máquinas geram muito calor. Essa má condição no ambiente de trabalho, afeta diretamente na produção, causando consequências para seus colaboradores, dentre as principais seria o desconforto, insatisfação, desgaste físico e mental. As consequências para a empresa seriam a improdutividade, aumento de custos e de erros no processo, podendo levar a mesma até a falência.

A busca de alternativas para essa problemática está relacionada à climatização desses ambientes. De acordo com David et al(2008),Esse estudo baseia-se na concepção de três frentes: a satisfação do homem ou seu bem estar em se sentir termicamente confortável; a performance humana, já que a experiência e estudos mostram uma forte tendência de que o stress térmico, quer seja por frio ou quer seja por calor, causa a debilitação do estado geral de saúde e reduz o rendimento humano no que diz respeito às atividades intelectuais, manuais ou perceptivas; e a conservação de energia, já que o conhecimento das condições e dos parâmetros relativos ao conforto térmico evita desperdícios com calefação ou refrigeração.

Desta maneira, o objetivo deste trabalho está relacionado a sugestão de um climatizador evaporativo baseado no por José Francisco Vilela Rosa, no programa de Pós-Graduação no ano de 2009, tentando viabilizar economicamente e de forma qualitativa as frentes impostas pelas empresas de eficiência energética e ao mesmo tempo conforto para seus funcionários.

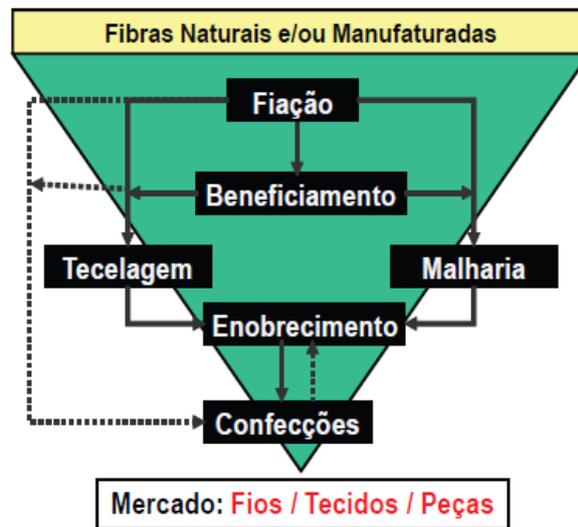
## **2. Indústria têxtil**

A manufatura têxtil existe desde os primórdios da humanidade, fabricados de forma artesanal. A automação da indústria têxtil coincidiu com a Revolução Industrial, quando as máquinas, até então acionadas por força humana ou animal, passaram a ser acionadas por máquinas a vapor e, mais tarde, por motores elétricos (RIBEIRO & ARAÚJO, 2009).

De acordo com a CITEVE (2011), a indústria têxtil é uma das indústrias mais globalizadas do mundo, fonte criação de emprego que se tornou essencial para muitos países e representa 6% da produção mundial e 14% do emprego mundial ao nível das indústrias manufadoras.

O processo produtivo da indústria têxtil compreende basicamente os fornecedores de matérias-primas (algodão e demais fibras), insumos (corantes têxteis, pigmentos têxteis, produtos auxiliares etc), e nos fabricantes de máquinas e equipamentos têxteis. A mesma encerra-se no comércio de venda final ao consumidor. O fluxograma de produção está relacionado na figura a seguir:

Figura1 - Fluxograma do processo produtivo da Indústria Têxtil



Fonte: Sinditêxtil

Na indústria têxtil, os principais gastos que se integram no produto estão relacionados aos materiais utilizados, a mão de obra necessária para a produção e os gastos com energia para alimentação do seu processo produtivo. Segundo a CITEVE (2011), os custos energéticos variam entre 8% em infraestruturas de fiação (principalmente eletricidade) e os 15% em operações de tingimento e acabamento. Desta maneira, para que a indústria têxtil funcione de maneira eficiente, faz-se necessário a implementação de um sistema integrado de gestão energética para que resultados satisfatórios sejam alcançados.

### 3. Gestão Energética

Conter a expansão do consumo de energia elétrica sem comprometer a qualidade de vida e o desenvolvimento econômico tem sido o estímulo ao seu uso eficiente. O crescimento do ramo e industrial, o capitalismo e principalmente o surgimento da automação, foram fatores que contribuíram para o aumento da demanda de produtos e consequentemente utilização excessiva dos recursos naturais do planeta. O consumo em geral é cerca de 20% maior do que a terra pode recuperar, tornando-se uma preocupação para o futuro próximo.

Segundo Kaehler et al (2000), três objetivos básicos devem estar presentes numa empresa, quando se tratar da questão energética:

- Ter confiabilidade no fornecimento e competitividade de preços no recebimento de energia de parte dos concessionários;
- Maximizar o processo de transformação energética dos insumos primários em vetores energéticos usuais: calor, vapor, ar comprimido, eletricidade, etc.
- Utilizar os vetores energéticos de forma eficiente, racional e econômica.

Num processo de gestão energética deve-se ter em mente que o gerenciamento de energia refere-se a um conjunto de medidas e práticas que aumentam a eficiência com que a energia é utilizada em todos os setores da economia. O aumento da eficiência energética implica na melhoria da produtividade global, ou seja: produzir mais com menos.

Uma das formas mais modernas e utilizadas no mundo para conter a expansão do consumo de energia elétrica sem comprometer a qualidade de vida e o desenvolvimento econômico tem sido o estímulo ao seu uso eficiente. A partir dessa ideia surge o conceito de eficiência energética ou gestão energética, que para segundo Escovar et al. (2009), Eficiência energética pode ser definida como a otimização que podemos fazer no consumo de energia.

Escovar et al. (2009), enfatiza que a eficiência energética pressupõe a implementação de estratégias e medidas para que o desperdício de energia seja combatido ao longo de todo o processo de transformação, ou seja, desde que a energia é transformada e, mais tarde, quando é utilizada.

A eficiência energética é frequentemente associada ao termo "Utilização Racional da Energia" (URE), que pressupõe a adoção de medidas que permitem uma melhor utilização da energia, tanto no setor doméstico, como no setor de serviços e industrial (ESCOVAR, 2009).

Apesar de toda essa filosofia está sendo divulgada e apresentada de forma clara para as indústrias por apresentarem retornos financeiros, existem diversas barreiras a serem quebradas como a falta de capacitação por parte dos gestores e funcionários sobre o assunto, falta de incentivos para as pequenas e médias empresas e falta de financiamentos privados.

#### **4. Climatização na indústria têxtil**

##### **4.1. Stress térmico**

A indústria têxtil apresenta ambientes com alto grau de temperatura por causa de seu maquinário pesado e influência de sua matéria prima principal, o algodão, por tratar-se de uma fonte de absorção de calor do ambiente. Desta maneira, os postos de trabalho ocupados pelos operadores são comprometidos e influenciando diretamente na produtividade da empresa.

Com relação à Produtividade, é inquestionável que o impacto das condições do ambiente influi na produtividade humana. Em atividades com exposição ao stress térmico, como na indústria têxtil, verifica-se que a produtividade aumenta com a diminuição até a eliminação do stress térmico. O interesse por produtividade tem sido acelerado, em nossos tempos, devido a maior competitividade entre as empresas e a busca de maior e melhor desempenho, no sentido de produzir mais com menos custo, maior qualidade e rentabilidade.

Kroner et al (1994) realizou estudo sobre a relação do controle do meio ambiente e o desempenho humano. Através de estações de trabalho com controle individual das condições ambientais, a pesquisa concluiu que mudanças no ambiente, incluindo a arquitetura interna, aumenta a produtividade estimada em até 16%. Se mudança dessa natureza reflete psicologicamente, aumentando a produtividade, mudança tornando o ambiente mais confortável (quanto ao stress térmico) influi positivamente na produtividade desgastando fisicamente menos o trabalhador. Também neste sentido, Rohles et al (1994), realizou estudo sobre a influência do conforto térmico em relação à produtividade e concluiu que a temperatura é um fator importante.

Quanto à ocorrência de acidentes, Lorsch et al (1994) realiza um estudo que relaciona a influência do calor no ambiente laboral e a frequência de ocorrência de acidentes de trabalho. Conclui o estudo, que em ambientes quentes, principalmente nos meses de maior incidência dos raios solares, elevando a temperatura ambiente, o número de acidentes é maior. O estudo não avalia fontes internas de calor, apenas estuda a temperatura ambiente proveniente do sol em ambientes industriais fechados. No caso de condições de stress térmico, com incremento de temperatura pela geração de calor, pelo funcionamento de máquinas e execução de processos industriais, essa elevação de temperatura é ainda maior e variável ao longo do dia, conforme as condições de isolamento térmico, tendendo a um número ainda maior de acidentes.

Por tanto deve-se destacar que o *stress* térmico influencia de forma direta no processo de produção além de prejudicar a vida do operador.

#### **4.2. Efeitos do Calor**

A temperatura no posto de trabalho influencia os operadores de diversas maneiras. Os efeitos poderão ser positivos ou negativos dependendo do clima apresentado. Destacando os efeitos negativos que o calor pode trazer ao homem, os principais são:

Quanto às doenças, estas tem origem na excessiva exposição ao calor, da qual podem advir vários tipos de patologias, entre as quais: a desidratação, a hipertermia, inflamação das glândulas sudoríparas, modificação comportamental e outras tais como: insolação ou choque térmico, hiperpirexia, síncope, exaustão, câimbras, erupção, fadiga, tensão (Stress).

Além dos efeitos à saúde, o stress térmico por calor, causa fadiga, afeta o desempenho, a vigilância e a produtividade. Isso ocorre pelo fato de que em ambientes quentes o trabalhador é mais vulnerável a acidentes, isso devido às condições ambientais de desconforto e a diminuição da concentração no exercício da atividade. McArdle(1978) afirmou, que se o ambiente é muito quente, a produtividade diminui, e se as pessoas não se sentem confortáveis, estão mais suscetíveis a cometerem erros, sofrerem acidentes ou realizarem uma quantidade menor de trabalho.

#### **4.3. NR-15 Anexo 3 Da Portaria 3.214/78 Do Ministério Do Trabalho Do Brasil – Limites De Tolerância Para Exposição Ao Stress Térmico – Calor**

A Norma Regulamentadora 15 é uma norma brasileira contida na portaria do Ministério do Trabalho, tendo o objetivo de regulamentar o texto da Lei nº 6.514 de 22 de dezembro de 1977. Ela estabelece os agentes passíveis de classificação como insalubres e apresenta limites de tolerâncias desses agentes. Um dos agentes abordados é o agente físico, que dentro dele inclui-se o calor que pode estar presente em muitas atividades industriais.

De acordo com a NR-15, a exposição ao calor deverá ser avaliada de acordo com o cálculo do índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo. A fonte dos cálculos é provida da produção de calor interna do corpo, como resultado de uma atividade física, da presença de fonte de calor e das características do meio onde ocorre a transferência de calor, entre a atmosfera e o corpo.

A NR-15 fornece uma tabela com os limites de tolerância para a exposição ao calor, em regime de trabalho intermitente com períodos de descanso no próprio local da prestação do serviço.

Figura 2 - Limites de Tolerância para exposição de calor

REGIME DE TRABALHO INTERMITENTE COM DESCANSO NO PRÓPRIO LOCAL DE TRABALHO	TIPO DE ATIVIDADE		
	LEVE	MODERADA	PESADA
Trabalho contínuo	Até 30,0	Até 26,7	Até 25,0
45 minutos de trabalho 15 minutos de descanso	30,1 a 30,6	26,8 a 28,0	25,1 a 25,9
30 minutos de trabalho 30 minutos de descanso	30,7 a 31,4	28,1 a 29,4	26,0 a 27,9
15 minutos de trabalho 45 minutos de descanso	31,5 a 32,2	29,5 a 31,1	28,0 a 30,0
Não é permitido o trabalho, sem a adoção de medidas adequadas de controle.	Acima de 32,2	Acima de 31,1	Acima de 30,0

Fonte: NR-15

#### 4.4. Importância da climatização na indústria têxtil

A climatização é de extrema importância para as indústrias de modo geral, pois como mencionado anteriormente neste trabalho, a produtividade é o objetivo e modo de sobrevivência nas corporações. Assim sendo, um posto de trabalho adequado ao operador gerará maior eficiência na produção.

De acordo com CACR (2014), a climatização nas empresas têxteis é necessária porque o algodão é um elemento extremamente hidrófilo, absorve e libera água com muita facilidade e muda suas características em função do conteúdo de água que possui. Esta característica exige condições de umidade e temperatura sob controle para o processamento do algodão.

Ainda de acordo com CACR (2014), o sistema de climatização além de cumprir com suas funções básicas, de manter o ambiente sob-boas condições ambientais e manter grau de limpeza compatível com a qualidade do produto, deve ser ágil com reações instantâneas para a manutenção do ambiente dentro das condições de projeto.

Outra consequência da inovação tecnológica é os avanços do maquinário com técnicas que os tornaram mais eficazes, acelerando o processo de produção. Como consequência a dissipação de calor pelos motores das máquinas vem aumentando significativamente, o nível de poeiras dissipadas no ambiente também aumenta a cada dia. A climatização têxtil deixou de ser um luxo, passando-se a ser é uma exigência do processo.

Em suma, o sistema de climatização da indústria têxtil objetiva principalmente repor o conteúdo de água liberado durante o processo; Controlar a umidade relativa e absoluta do ambiente; Renovar do ar e redução da temperatura; Limpar a sala através eliminação de

poeira e fibrilhos; Aumentar a resistência da fibra; Aumentar a capacidade de tensão do fio; Controlar a temperatura do ambiente (quando se opta pelo uso do ar Condicionado).

### **5. Proposta de Solução: Climatizador Evaporativo com painel de argila expandida**

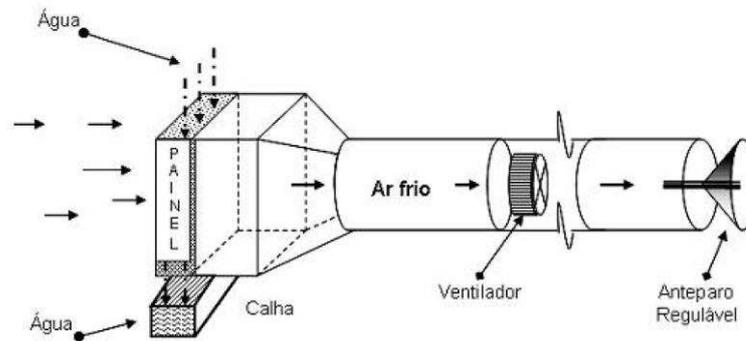
A solução proposta para climatização de ambientes na indústria têxtil foi baseada no trabalho realizado por José Francisco Vilela Rosa, no programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa- MG no ano de 2009. A tese relata a avaliação de painéis porosos constituídos de argila expandida em sistemas de resfriamento adiabático evaporativo.

Anteriormente a parte experimental, procedeu-se a restauração do túnel de vento desenvolvido por Vigoderis (2002), à construção do painel móvel e a instalação do reservatório de água usado no processo de resfriamento estudado. Concomitantemente procedeu-se a separação da argila expandida por granulometria. ( VILELA, 2009)

#### **5.1. Túnel de Vento**

O túnel de vento utilizado foi construído e desenvolvido por Vigoderis (2002). Esse equipamento permite avaliações de painéis evaporativos fabricados por materiais alternativos. De acordo com Vilela et al, o túnel é composto pelas seguintes partes: câmara com 1,5 m de altura, 1,00 m de largura e 1,20m de profundidade. Constitui uma abertura com dimensões 1,23 X 0,93m, onde foram acomodados os painéis porosos. A câmara foi confeccionada com chapas metálicas galvanizadas nº 26. Em uma das extremidades foram colocados painéis porosos. No centro geométrico de cada uma das faces da câmara foram colocados orifícios, para instalação de tubos plásticos, para medição da pressão estática em vários pontos. Uma redução metálica foi fixada na extremidade oposta a câmara, convergindo para um duto circular de 0,26m de diâmetro e 3,00 m de comprimento. Faz parte do sistema um ventilador centrifugo de vazão de  $1,6\text{m}^3\text{s}^{-1}$ , acionado por um motor de 5.500 w, trifásico. A extremidade livre do ventilador possui um anteparo regulável, com função de variar a vazão do ar e consequentemente a velocidade deste.

Figura 3- Representação esquemática do Túnel de Vento e do Painel de resfriamento Evaporativo



Fonte: Vilela 2009

Durante os testes, os painéis de material poroso foram irrigados com água do reservatório. Dessa forma, o ar externo, ao ser forçado a atravessar o painel, entrava em contato com a água nele contida, ocorrendo assim a evaporação e conseqüentemente o resfriamento do ar. O sistema de molhamento dos painéis foi constituído de um tubo de PVC de 20mm de diâmetro, posicionado logo acima da placa e perfurado a cada 35mm, num total de 28 furos, por onde gotejava a água em uma lâmina homogênea através do material poroso ( VILELA,2009). Abaixo dos painéis, foi colocada uma calha metálica conectada ao tubo de PVC, visando a coleta de água excedente que deixava o material poroso. O tubo era abastecido pela caixa d'água. Veja no Anexo 01 e 02.

### 5.2. Painéis de Material Poroso em Argila Expandida

Foram construídos dois painéis com dimensões fixas, e espessuras de 8,5 e 10 cm , respectivamente. O material escolhido para a confecção das placas foi a argila expandida. Elas foram colocadas no espaço entre as telas, com diferentes granulometrias. Veja no Anexo 03.

### 5.3. Argila Expandida

Segundo Gea et al. (2003), a argila expandida ou cinasita é um material cerâmico com uma estrutura altamente porosa, de elevada resistência mecânica e inerte. Ela é fabricada a partir de uma argila especial com capacidade de expansão. O material extraído da natureza é triturado, levado altas temperaturas e depois sofre um choque térmico, tornando-se uma estrutura porosa e cerâmizada. O anexo 04 apresenta uma visualização deste recurso natural. A escolha desse material para fabricação de um climatizador evaporativo se dá pelas seguintes características:

- A argila expandida é um material consistente mecanicamente, durável e quimicamente estável. É um material prático, que pode ser estocado em qualquer local, por longos períodos de tempo.

- Ele é quimicamente inerte, ou seja, livre de qualquer substância que possa ter efeito adverso sobre os materiais em contato com ela.
- Ela é um material relativamente barato em relação aos outros.
- Possui altas qualidades de isolamento térmico.

O trabalho apresentado mostrou resultados surpreendentes, com índices de resfriamento e umidade bastante consideráveis. A adoção desse tipo de climatizador poderá fornecer as indústrias têxteis diversos fatores relacionados a produtividade como também proporcionará uma melhor saúde, segurança e satisfação de seus colaboradores.

## **6. Conclusões**

Este trabalho teve como objetivo abordar o tema Eficiência Energética, indicando, através de pesquisas, o melhor equipamento a ser utilizado para climatizar indústrias do segmento têxtil que não necessita deste produto apenas para resfriamento, mas principalmente precisa de um produto que solucione o problema da poeira em suspensão gerado pelo algodão.

Percebe-se que o climatizador evaporativo tem muitas vantagens frente à outros aparelhos de climatização existentes e se enquadra nos quesitos procurados para atender as exigências do tipo de indústria. Os custos de instalação e operação para os climatizadores evaporativos são uma fração dos custos de sistemas de ar condicionado convencionais, além disso, a necessidade de manutenção é mínima, e não exige mão de obra especializada.

Vale salientar que com o uso de climatizadores evaporativos os índices de consumo energético caem quando comparados com o uso principalmente do ar condicionado, mostrando ser a melhor alternativa aliando redução de custos para a empresa com o uso dos princípios de eficiência energética.

A solução proposta com o trabalho de Vilela (2009) atrelada fabricação de um climatizador evaporativo com painel constituído por argila expandida demonstrou resultados surpreendentes, com índices de resfriamento e umidade bastante consideráveis. A adoção desse tipo de climatizador poderá fornecer as indústrias têxteis diversos fatores relacionados a produtividade como também proporcionará uma melhor saúde, segurança e satisfação de seus colaboradores.

## **6. Referências Bibliográficas**

ABREU, P.G.; ABREU, V.M.N. Resfriamento de aviário: caracterização dos sistemas de resfriamento evaporativo. Embrapa Suínos e Aves, 2005. P.1-2. (comunicado Técnico:264)

CACR – Engenharia & Instalações. Disponível em:

<<http://www.cacr.com.br/cacrnews2.htm>> Acesso em: 17 de Agosto de 2014.

CASTRO, W.P., PIMENTA, J.M.D. **Modelagem e Simulação de Painéis Evaporativos Diretos**. Proceedings of 10º Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering. Rio de Janeiro, 2004.

CITEVE. **Gestão energética na Indústria Têxtil**. Editora Clássica – Artes gráficas. Ano de Tiragem: 2011.

DAVID e REYES, Luís. **Projeto sobre o Climatizador evaporativo**. Centro ciências e tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande. 2008.

ESCOVAR, C.; ELIZABETH, LLUVIA, PRISCILLA E THELMA. **Eficiência Energética**. Disponível em:

<[http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos\\_2009-2/eficiencia\\_energetica/eficiencia\\_energetica.pdf](http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2009-2/eficiencia_energetica/eficiencia_energetica.pdf)> Acesso em: 13 de Agosto de 2014.

KAEHLER, J.W.M. **Treinamento em Qualidade para Gestão de Energia: Formação de Gestores em Eficiência Energética**. Anotações de aula PPGEE/PUCRS, julho 2000.

KRONER, W. M. **Environmentally Responsive Workstations and Office-Worker Productivity**, ASHRAE Transactions. 1994, Florida: v.10, n.4, p.35-39.

LORSCH, H. G. **The Impact of the Building Indoor Environment on Occupant Productivity** – Part 2: Effects of temperature, ASHRA Transactions.1994. Florida: v.10, n.4, p.16-22.

Norma Regulamentadora – NR-15, Portaria 3.214 de 08 de junho de 1978 do Ministério do Trabalho do Brasil.

RIBEIRO, R. B.; ARAÚJO, A. O. **Impacto da Não-Preservação Ambiental no Resultado de uma Indústria Têxtil da Região Metropolitana de Natal**. 2009.

Disponível em: <<http://www.anpcont.com.br/site/docs/congressoIII/01/230.pdf>> Acesso em: 15 de Agosto de 2014.

ROHLES, F.H. **A Human Factors Approach to Performance and Productivity**, ASHRAE Transactions. Florida: v.10, n.4, p.1-6, 1994.

VILELA, José Francisco. **Avaliação de Painéis porosos constituídos de argila expandida em sistemas de resfriamento adiabático evaporativo**. Programa de Pós Graduação em engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa-MG. 2009.

## 7. Anexos

Anexo 1 - Sistema de resfriamento dos painéis evaporativos



Fonte: Vilela 2009

Anexo 2 - Sistema de abastecimento



Fonte: Vilela 2009

Anexo 3 - Detalhes da argila expandida acomodada entre as telas



Fonte: Vilela 2009

Anexo 4 - Estrutura da argila Expandida



Fonte: Vilela 2009