

Reuso de água condensada de um prédio público do poder judiciário de Pernambuco: estudo de caso

Ailson Alves de Souza MSc.¹

Resumo

O uso sustentável dos recursos naturais é fundamental na definição de políticas direcionadas para o desenvolvimento sustentável. O presente artigo discute possível fonte alternativa de reuso de água em uma edificação pública, com foco na reutilização de água condensada do sistema de ar-condicionado de um prédio público de grande circulação em Olinda-PE. O projeto proposto teve como objetivo analisar a aplicação de um sistema de reuso de água de sistema de ar-condicionado de um prédio público por meio do volume horário de água condensada desperdiçado. A quantificação do volume foi realizada em 03 equipamentos com diferentes capacidades de resfriamento que representam 65% dos 293 equipamentos de refrigeração existente no imóvel estudado. A coleta foi realizada durante 30 dias de levantamento, perfazendo uma quantidade amostral de 114 dados coletados. Após a coleta de dados ajustou-se um modelo de regressão linear para devida inferência estatística. Com o modelo de regressão linear obtido estimou-se o volume diário em 2.168,80 litros de água condensa-

da, equivalente a um consumo mensal considerando 22 dias úteis no mês de 47.713,60 litros e anual de até 600.000 litros, o que poderá gerar uma economia na tarifação de água anual de R\$ 5.245,45. Vale destacar a importância da percepção ambiental como agente motivador para soluções tangíveis de um gerenciamento ambiental sustentável.

Palavras-chave: Aproveitamento de água condensada; Regressão Linear; Sustentabilidade; Gerenciamento Sustentável.

Condensed Water Reuse in a Public Building of the Pernambuco Judicial Power: Case Study

Abstract

The sustainable use of natural resources is fundamental in the definition of policies aimed at sustainable development. This article discusses a possible alternative source of water reuse in a public building, with a focus on reusing condensed water from the air conditioning system of a public building with large circulation in Olinda-PE. The propo-

¹ORCID (0000-0002-2611-5581), Engenheiro Civil - CREA-PE 181587129-6. E-mail: ailsonbt@hotmail.com

sed project aimed to analyze the application of a water reuse system for an air-conditioning system in a public building through the hourly volume of condensed water wasted. The volume quantification was performed in 03 equipment with different cooling capacities that represent 65% of the 293 refrigerations equipment in the studied property. The collection was carried out during 30 days of survey, making a sample amount of 114 collected data. After data collection, a linear regression model was adjusted for proper statistical inference. With the linear regression model obtained, the daily volume was estimated at 2,168.80 l of condensed water, equivalent to a monthly consumption considering 22 working days in the month of 47,713.60 l and annual of up to 600,000 l, which may generate a savings in annual water tariffs of R\$ 5.245.45. It is worth highlighting the importance of environmental perception as a motivating agent for tangible solutions for sustainable environmental management.

Keywords: Use of condensed water; Linear Regression; Sustainability; Sustainable, Management.

1. Introdução

Há tempos a água se constitui em recurso estratégico para a humanidade, pois além de manter a vida no planeta é recurso que impulsiona o desenvolvimento econômico, sociocultural e ecológico de regiões, devido a isso, a sua escassez leva a uma série de problemas que devem ser combatidos por todos os gestores para que o recurso não venha a faltar, sobretudo para a população mais pobre. O uso sustentável dos recursos naturais é fundamental na definição de políticas direcionadas para o desenvolvimento sustentável. Isso se deve à forte dependência entre o desenvolvimento econômico, a conservação e o uso sustentável dos recursos naturais que impulsiona o desenvolvi-

mento socioeconômico das regiões.

Isso se faz necessário para assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, que tende a se agravar com o aumento da população e com as mudanças climáticas em curso em todo o Planeta.

Neste contexto, muitos municípios e estados têm adotado legislações que visam promover o reuso e o aproveitamento de águas residuais na tentativa de garantir o uso seguro dessas águas servidas. Em Pernambuco a Lei nº 16.584/2019, determina a obrigatoriedade da coleta da água oriunda do sistema de climatização de ar nas edificações artificialmente climatizadas privadas acessíveis ao público e do controle de qualidade do ar.

Segundo Guzzo, Belisário e Gonçalves (2017, apud GLAWE, 2013), as previsões da quantidade de água condensada que será gerada pelo sistema de climatização dependem de várias variáveis, incluindo as condições do ar externo, pontos de ajuste para condições de ar interno, aquecimento, ventilação, tipo de sistema, configurações de ar condicionado, tipo e uso do edifício. Al-Farayedhi, Ibrahim e Gandhidasan (2014, apud Guzzo, Belisário e Gonçalves, 2017) destaca que a média de produção de condensado de um ar condicionado do tipo split, localizado na Arábia Saudita, é de 53 litros de água por dia se ligado 24h, vale ressaltar que a temperatura e a umidade relativa na região variam de 25°C a 50°C. De acordo com Carvalho (2017) em média um aparelho de 36.000 Btu/h de uma instituição de ensino superior tem uma vazão de 1,04l/h.

Visando a conservação desse recurso, é imprescindível a busca por estratégias de reaproveitamento de água, mediante mudanças de hábitos da sociedade para o uso sustentável desse recurso reduzindo a pressão sobre os mananciais, e nesse contexto, o presente projeto consiste em analisar a quantidade de água que é desperdiçada diariamente pelos aparelhos condiciona-

dores de ar do sistema de climatização de um prédio público com 7.500 m² de área construída, a fim de estudar possivelmente a viabilidade de um sistema de captação e distribuição para a reutilização dessa água para fins não potáveis, evitando o desperdício com o reuso dessa água e diminuindo o consumo de água para manter o prédio com suas atividades desenvolvidas.

Assim o presente trabalho teve como objetivo analisar o potencial de produção de água condensada dos aparelhos de ar-condicionado componentes do sistema de climatização de um prédio público em Olinda Pernambuco.

2. Metodologia

Todos equipamentos do sistema de climatização do prédio em estudo tem controle de temperatura individualizado, a pesquisa foi desenvolvida em 03 (três) equipamentos com capacidades térmicas diferentes, os quais representam cerca de 65% dos equipamentos instalados no prédio público em estudo com área construída de 7.413,00 m², que tem uma área coberta de 2.483,50 m², com fluxo diário em torno de 1.530 pessoas, que perfaz um fluxo médio por ambiente de 51 pessoas em seu horário de funcionamento das 07:00h às 17:00h. Durante a pesquisa dos dados coletados a temperatura média externa em torno do prédio foi de 32 °C com sensação térmica de 35°C.

Para a concepção do protótipo e testes de viabilidade da solução proposta, foram seguidas uma série de etapas descritas na Figura 1.

FIGURA 1
Fluxograma do desenvolvimento da pesquisa.



Análise dos Projetos do Sistema de Climatização

Através dessa etapa foi possível obter as informações de quantidades de equipamentos instalados, capacidade instalada de refrigeração, % de equipamento por capacidade de refrigeração dos equipamentos, com o objetivo de direcionar uma amostragem para uma representação significativa de ar-condicionados instalados.

A partir da análise do projeto de climatização do prédio, foi identificado que 3 (três) capacidades térmicas representam cerca de 65% dos equipamentos componentes do sistema de refrigeração do prédio em estudo, sendo esses equipamentos escolhidos para o levantamento de suas vazões horárias por um período de 15 dias cada, com duas medições diárias, uma no período da manhã e outra no período da tarde, tal levantamento foi realizado no mês de outubro cuja estação do ano é a primavera, que tem como característica temperaturas altas e poucas chuvas concentradas no litoral, ficando um estudo futuro para contemplar a sazonalidade natural do clima.

Protótipo da coleta manual

Prévio ao estudo foi levado a cabo um ensaio teste de performance, para avaliação do protótipo de coleta de água manual, tais calibrações e ajustes foram feitos e definido o equipamento de coleta de água usado na pesquisa. Uma vez definido o protótipo de equipamento de coleta de água de ar-condicionado foi testado previamente antes do início da segunda fase do estudo. Cabe destacar que o protótipo foi desenvolvido de forma simples e prática, podendo ser facilmente produzido por qualquer pessoa com habilidades manuais.

Coleta de dados ambientais

Para a coleta dos dados ambientais dos espaços internos foi utilizado um Ae-

rômetro Fluke 975, a ferramenta de teste Fluke 975 AirMeter™, aerômetro de mão com cinco sensores para diagnóstico da qualidade do ar interno. Este aerômetro mede, calcula e exibe:

- Temperatura, ponto de orvalho e bulbo úmido em graus Celsius (°C) ou Fahrenheit (°F).
- Umidade relativa (%RH).
- Níveis de monóxido de carbono (CO) em ppm.
- Níveis de dióxido de carbono (CO₂) em ppm.
- Velocidade do ar (padrão e real) medida em mps e fpm.
- Porcentagem do ar externo, baseada em temperatura ou CO₂.
- Pressão barométrica absoluta; mostrada apenas na inicialização.
- Medições de mínimo, máximo e média correspondentes à temperatura, umidade relativa, bulbo úmido, ponto de orvalho, velocidade, CO e CO₂.

Medição da variável dependente (volume de água condensada) e das variáveis independentes

Com o protótipo de coleta manual em funcionamento foi possível realizar a medição diária da água condensada gerada pelos aparelhos de refrigeração em estudo, a fim de ter a ciência da economia hídrica e financeira que pode ser resultado desse projeto. Com base nas variáveis que podem interferir no volume da água condensada do sistema de climatização foi elaborada uma planilha para coleta dos dados, na qual foram coletadas as variáveis independentes (Capacidade térmica (BTU/h), temperatura interna (°C), umidade relativa do ar interior (%), concentração de CO₂ interna (ppm), ponto de orvalho (°C), temperatura

de bulbo úmido ($^{\circ}\text{C}$), temperatura externa ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa do ar externo (%) e como variável dependente/resposta o volume horário da água condensada (ml/h).

Com relação a medição das variáveis independentes, inclusive a medição do CO_2 , o amostrador ficou a uma altura de 1,10m, na linha de respiração de uma pessoa sentada e no meio da sala, na mesma altura dos demais sensores. Como se tratava de um equipamento portátil, não era possível ser pendurado a uma altura de 1,50m como prevê a Resolução nº 09 da ANVISA.

Inferência Estatística para obtenção da equação de regressão linear

Para Neto (2014), a dita metodologia é a parte da ciência estatística que permite extrair conclusões sobre uma população a partir de uma amostra, utilizando o modelo de regressão linear, que é a técnica mais

utilizada quando se deseja estudar o comportamento de uma variável dependente, no caso em tela o volume horário de água condensada, em relação a outras variáveis denominadas independentes às quais são responsáveis pela variabilidade do volume de água condensada.

No modelo de regressão utilizado neste projeto, concebido com a utilização da metodologia de “Inferência Estatística”, foram testados todas os pressupostos básicos estabelecidos no Anexo A da Norma (NBR 14.653-2/2011- Avaliação de bens - Imóveis Urbanos) principalmente no que concerne às suas especificação, normalidade, homocedasticidade, não-multicolinearidade, não-autocorreção, independência e inexistência de pontos atípicos, com o objetivo de obter resultados não tendenciosos, eficientes e consistentes, e todos os pressupostos foram atendidos no modelo concebido neste projeto.



Cotrim e Amaral
Engenharia de Avaliações e Perícias Judiciais

Vistorias Cautelares

Inspeção Predial

Avaliação de Imóveis Urbanos e Rurais

Avaliação de Máquinas e Equipamentos

Inventário e Controle Patrimonial

Laudo de Recebimento de Obra

Avaliação de Empreendimentos
e Estudo de Viabilidade

Perícias Judiciais

 @cotrimeamaral

 cotrimeamaral1@uol.com.br

 (82) 3338.1429

3241.0237

3021.0234

9 8164.6797

9 9981.6864

Avenida Mendonça Júnior, 317-A,
Gruta de Lourdes - Maceió/AL.
CEP: 57052-480

Construção do Modelo de Regressão

Para construção do modelo de regressão, pesquisou-se várias variáveis ambientais que pudessem se correlacionar com a produção de água condensada de um sistema de ar condicionados, após intensa revisão bibliográfica definiu-se que capacidade de refrigeração (Btu/h), nível de CO₂ (ppm), ponto de orvalho (°C) e umidade relativa do ar externo (URext%) seriam as mais importantes. Assim medidas dessas variáveis foram realizadas conforme cronograma da pesquisa.

O modelo matemático de homogeneização foi ajustado utilizando-se o Método dos Mínimos Quadrados para estimativas não-tendenciosas dos parâmetros, onde a heterogeneidade dos dados foi tratada a partir do uso de metodologia científica (suportada por técnicas apropriadas da estatística),

que levou a indução de modelo validado por todos os pressupostos básicos contemplados no anexo A2 da norma ABNT/NBR 14.653-2/2011 (avaliação de bens), tais como micronumerosidade, equilíbrio da amostra, homocedasticidade do modelo, aleatoriedades dos resíduos com distribuição normal, colinearidade ou multicolinearidade, pontos influenciadores ou outliers, teste de significância dos parâmetros (teste t) e teste de significância das variáveis (teste F).

3. Resultados e discussão

A partir da análise do projeto, conforme apresentado na Tabela 1, foi identificado que três capacidades representaram cerca de 65% dos equipamentos componentes do sistema de refrigeração do prédio em estudo.

TABELA 1

Composição do sistema de refrigeração de um prédio público na cidade de Olinda.

Capac. Unit. (BTU/h)	Quant.	Capac.total (TR)	(%)
7500	24	15,00	3,79
9600	23	18,40	4,65
12300	127	130,18	32,91
15400	30	38,50	9,73
18000	3	4,50	1,14
19100	35	55,71	14,08
24000	1	2,00	0,51
24200	31	62,52	15,81
30000	2	5,00	1,26
30700	5	12,79	3,23
38200	16	50,93	12,88
TOTAL	297	395,525	100

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da metodologia de pesquisa científica, utilizando-se o Método dos Mínimos Quadrados para estimativas não-tendenciosas dos parâmetros, foi identificado um modelo de regressão para quantificação do volume horário de água condensada do sistema de climatização do prédio em estudo, composto pela seguinte equação:

EQUAÇÃO 1

Equação do modelo para quantificação do volume horário de água condensada para qualquer evaporadora do tipo VRF

$$\text{Volume (ml/h)} = 1165,6799 + -11073085 * 1/\text{Capac. (Btu/h)} + 599413,6 * 1/\text{CO}_2 \text{ (ppm)} + -30,123209 * \text{Pt. Orvalho (}^\circ\text{C)} + -8255,7653 * 1/\text{UR Ext (\%)}$$

Onde:

- **Volume horário (ml/h)** – Variável dependente (explicada) correspondente ao volume horário da capacidade de refrigeração do equipamento;
- **Capac. (Btu/h)** – (Variável quantitativa - independente) correspondente à capacidade de refrigeração do aparelho condicionador de ar objeto de estudo;
- **CO₂ (ppm)** – (Variável quantitativa – independente) correspondente ao nível de gás carbônico no ambiente onde está localizado o aparelho objeto de estudo;
- **Pt Orvalho (°C)** – (Variável quantitativa - independente) correspondente à temperatura do ponto de orvalho no ambiente onde está localizado o aparelho objeto de estudo;
- **UR ext (%)**. – (Variável quantitativa - independente) correspondente ao percentual da umidade do ar exterior do ambiente onde está localizado o aparelho objeto de estudo.

As amplitudes utilizadas como variáveis explicativas do modelo-regressão desenvolvido são apresentadas na Tabela 2.

TABELA 2

Composição do sistema de refrigeração de um prédio público na cidade de Olinda.

Variáveis	Amplitude	
	Mínimo	Máximo
Temperatura interna (°C)	21,0	26,0
Umidade Relativa do ar interno (%)	43,0	65,1
Níveis de CO ₂ (ppm)	482,0	1186,0
Ponto de orvalho (°C)	9,9	16,8
Temperatura Bulbo úmido (°C)	14,2	20,8
Temperatura externa (°C)	25,8	36,1
Umidade relativa do ar (%)	24,4	77,6

Fonte: Elaborado pelo autor.

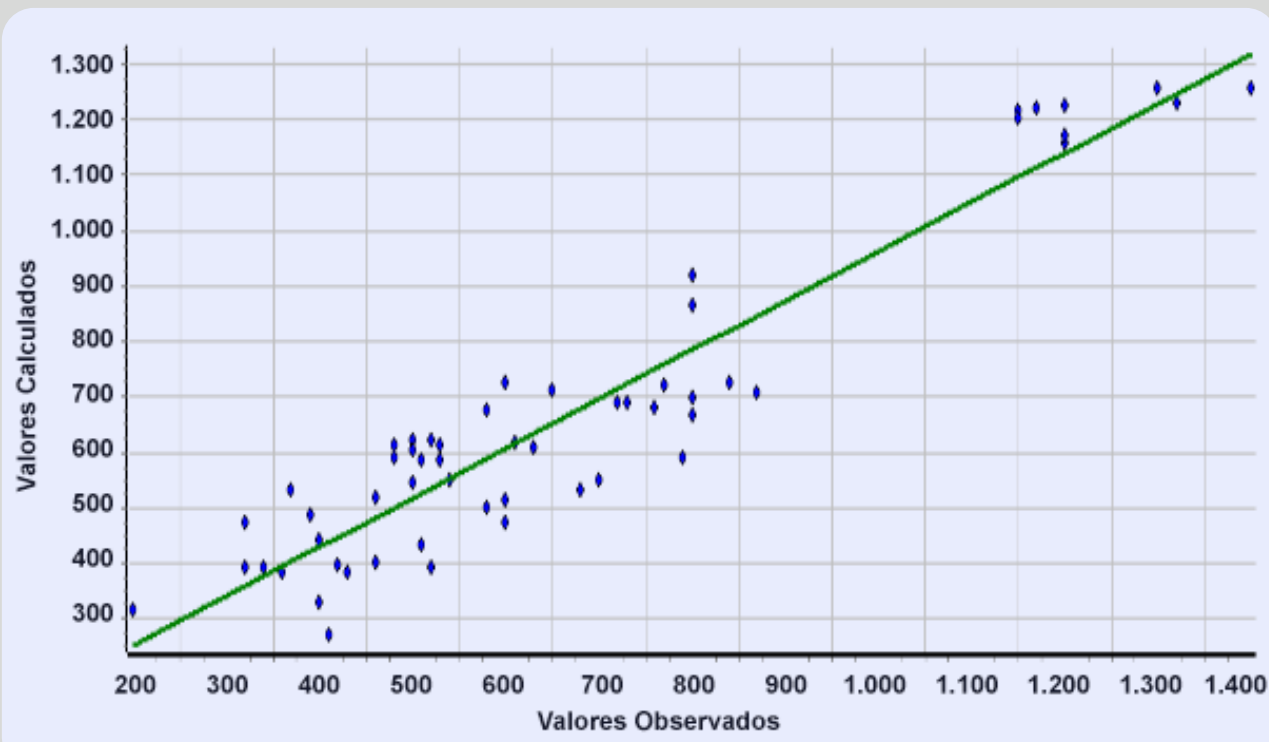
Tal equação contempla em torno de 65% dos equipamentos instalados no prédio em estudo, onde os 35% restantes obedecem o critério de extrapolação da norma NBR 14.653-2/2011 que admite para apenas uma variável (no caso a capacidade térmica) desde que:

- (a) as medidas das características do objeto não sejam superiores a 100 % do limite amostral superior, nem inferiores à metade do limite amostral inferior;
- (b) o valor estimado não ultrapasse 15% do valor calculado no limite da fronteira amostral, para a referida variável, em módulo.

A Figura 2 nos permite observar o ajuste da equação, frente à reta de ajuste do modelo desenvolvido.

FIGURA 2

Valores observado X valores calculados no modelo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O R^2 ajustado observado para essa equação foi de 0,8797, o que consideramos refletir de forma satisfatória o potencial de captação de água no sistema de refrigeração estudado. Considerando a equação parametrizada do volume horário apresentada na Equação 1 e a composição dos equipamentos de refrigeração do prédio estudado apresentados na Tabela 1 obtivemos o volume horário do prédio em estudo, os quais estão devidamente apresentados na Tabela 3.

TABELA 3

Volume horário unitário e total do sistema de climatização do prédio em estudo.

Volume horário admissíveis para o intervalo de confiança de 80%							
Capac. Refriger. (Btu/h)	Quant. de equipamentos	Volume horário unitário (ml/h)			Volume horário total (ml/h)		
		Mínimo	Estimado	Máximo	Mínimo	Estimado	Máximo
7.500	24	410,92	471,47	532,01	9.862,08	11.315,28	12.768,24
9.600	23	410,92	471,47	532,01	9.451,16	10.843,81	12.236,23
12.300	127	413,78	434,08	454,38	52.550,06	55.128,16	57.706,26
15.400	30	872,22	905,88	939,54	26.166,60	27.176,40	28.186,20
18.000	3	976,93	1.009,74	1.042,55	2.930,79	3.029,22	3.127,65
19.100	35	1.097,41	1.122,47	1.148,11	38.409,35	39.286,45	40.183,85
24.200	32	1.192,03	1.247,23	1.302,44	38.144,96	39.911,36	41.678,08
30.000	2	1.213,53	1.255,81	1.298,09	2.427,06	2.511,62	2.596,18
30.700	5	1.221,42	1.264,23	1.307,04	6.107,10	6.321,15	6.535,20
38.200	16	1.287,40	1.335,04	1.382,68	20.598,40	21.360,64	22.122,88
Volume horário total (l/h)					206,65	216,88	227,14

Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando que o horário normal do Fórum em estudo é das 07:00h às 17:00h, ou seja, um intervalo de 10 horas diárias, temos o volume total diário apresentado na Tabela 4.

TABELA 4

Volume diário total do sistema de climatização do prédio em estudo.

Horas diárias trabalhadas (10h)	Volume diário total (l)		
	Mínimo	Estimado	Máximo
Volume horário total (l/h)	206,65	216,88	227,14
Volume diário total (l)	2.066,50	2.168,80	2.271,40

Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando 22 dias úteis no mês (excetuando o funcionamento da sala de plantão e recepção dos plantões judiciais), temos o volume mensal total de água condensada apresentada na tabela 5.

TABELA 5

Volume mensal total do sistema de climatização do prédio em estudo.

Dias úteis mensais (22 dias)	Estimado	Máximo
Volume diário total (l)	2.168,80	2.271,40

Fonte: Elaborado pelo autor.

TABELA 6

Volume anual total do sistema de climatização do prédio em estudo.

Quantidade de meses anual (12 meses)	Volume anual total (l)		
	Mínimo	Estimado	Máximo
Volume mensal total (l)	45.463,00	47.713,60	49.970,80
Volume anual total (l)	545.556,00	572.563,20	599.649,60

Fonte: Elaborado pelo autor.

4. Conclusão

A partir da aplicação da análise de regressão múltipla foi possível obter uma equação geral de estimativa de água condensada dos equipamentos componentes de parques de refrigeração.

Com a implantação de um sistema de captação da água condensada do sistema de refrigeração do prédio em estudo (2.483,50 m²) é possível o reuso de 600.000 litros de água por ano acarretando uma economia anual de R\$ 5.245,45.

Nesse contexto, é evidente a potencialidade de aplicação de pesquisas como

essa, ao passo que estudos voltados para o reuso de água condensada, feita de forma sustentável e sem a utilização de muitos fundos econômicos, é de fácil aplicação e torna viável ter um meio de abastecimento de água, proveniente de recursos que seriam descartados por vias que contaminariam essa água limpa.

Referências

Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental [ABES] (2015). *Reúso de Água nas crises hídricas e oportunidades no Brasil*.

ABNT NBR 14653-2 de 03 de fevereiro de 2011. *Avaliação de Bens: Imóveis Urbanos* [S.l.]: São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Catapreta C.A.A., Freitas A.S. (2017). *Estudo de viabilidade para aproveitamento da água de condensação de máquinas de ar condicionado*, em Congresso Abes.

Carvalho, I. M., Santiago, A. L. S., Lima, E. L. A., Sousa, I. M. T., Baydum, V. P. A. (2017). *Análise de água proveniente de aparelho de ar condicionado visando o seu reaproveitamento*, UNICAP, Recife.

Neto, A. F. (2014). *Engenharia de Avaliações*, IBAPE – Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia, Editora Leud, São Paulo.

Guzzo, F. R., Belisário, G. Z., Gonçalves, R. F. (2017). *Avaliação do aproveitamento da água condensada em edificação comercial de grande porte*, Congresso Abes, São Paulo.

Lei nº 16.584 de 10 de junho de 2019 (2019). Dispõe sobre normas para o uso racional e reaproveitamento das águas nas edificações do Estado de Pernambuco e dá outras providências. Diário Oficial de Pernambuco, Recife. Recuperado em 16 de novembro, 2020, de <https://legis.alepe.pe.gov.br>.

Resolução ANVISA nº 9 de 16 de janeiro de 2019, dispõe sobre orientação técnica sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior, em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo. Brasília, DF.

Esteja junto aos melhores e
seja diferenciado no mercado!

Seja sócio!



Benefícios de se associar ao IBAPE-PE:

- ☒ Divulgação do associado no Site Oficial do IBAPE-PE
- ☒ Participação em Grupos de Trabalho Técnico
- ☒ Networking com profissionais destacados
- ☒ Uso do nome do Instituto em Trabalhos e Materiais de Divulgação
- ☒ Participação em Grupos de Desenvolvimento e Aprimoramento de Normas Técnicas
- ☒ Descontos em cursos e em congressos, incluindo Grupo Especial de Desconto para associados
- ☒ Comprovação de Capacidade Técnica para credenciamentos
- ☒ Carteira de Associado IBAPE-PE
- ☒ Selo IBAPE-PE de autenticação de documentos do associado