

Sustentabilidade hídrica através do reuso automatizado de água de aparelhos de refrigeração

Alfredo Menezes Vieira¹, Almerindo Nascimento Rehem Neto¹, Brunna Suellen Martins Barreto¹, Ian Sandes Alves¹, Leila Vasconcelos Zacarias¹, Marcus Vinícius Souza Santana¹, Mayara De Almeida Matos¹, Rubens De Souza Matos Junior¹

¹Instituto Federal de Sergipe (IFS) - Campus Lagarto - Lagarto, SE - Brasil

{alfredo.vieira, almerindo.rehem}@ifs.edu.br, brunna.martins@live.com,
{iansandes15, lelih.v03, mayyaramatos, rubens.matos}@gmail.com,
marcus-ss@hotmail.com

Abstract. *An automated hydraulic system can contribute to water and financial economics, bringing ecological benefits to the environment. This article presents a proposal for a system for capturing and reusing water from refrigeration appliances. An integration between hydraulics and sensors linked to an Arduino board or microcontroller is demonstrated here. The proposed system monitors the water consumption and manages in which moments the reused water or the sanitation company will be used. Measurements of the volume of water coming from refrigeration appliances, small scale prototypes and three-dimensional models were used as proof of concept, demonstrating the viability of the solution.*

Resumo. *Um sistema hidráulico automatizado pode contribuir para a economia hídrica e financeira, trazendo benefícios ao ambiente. Este artigo apresenta uma proposta de sistema de captação e reutilização da água oriunda de aparelhos de refrigeração. Utiliza-se aqui a integração entre sistema hidráulico e sensores vinculados a uma placa Arduino ou microcontrolador. O sistema proposto monitora o consumo de água e define em quais momentos será utilizada a água reaproveitada ou da companhia de saneamento. Medições do volume de água advindo dos aparelhos de refrigeração, protótipos em escala reduzida e modelos tridimensionais serviram como prova de conceito, demonstrando a viabilidade da solução.*

1. Introdução

A avaliação de desenvolvimento sustentável de uma determinada região é feita a partir do nível de equilíbrio entre a retirada de recursos naturais e o desenvolvimento sócio-econômico. Dados divulgados em 2015 pelo World Resources Institute (WRI) apontam que mais de 30 países enfrentarão crises hídricas de alto risco nos próximos 25 anos, de acordo com um relatório que mediu a demanda e a disponibilidade de água em 167 nações. Segundo a Agência Nacional das Águas (ANA), cerca de 48 milhões de pessoas foram afetadas por secas ou estiagens no território brasileiro entre 2013 e 2016.

Segundo TUCCI (2000), a coleta de dados hídricos é essencial para qualquer planejamento adequado. Observa-se que existe a necessidade de modernização do

sistema de monitoramento tradicional, por meio de automação, revisão de práticas hidrométricas e ampliação de coleta de dados de qualidade de água e sedimentos.

Diante disso, esse projeto propõe mecanismos que facilitam a reutilização ou reaproveitamento de água condensada que goteja de aparelhos de refrigeração como uma maneira interessante e sustentável para reduzir o consumo de água [MAGRINI 2015], uma vez que é totalmente indicada para práticas de uso não-potável. Essa proposta teve sua viabilidade demonstrada através de um protótipo sistema hidráulico automatizado, onde o controle e monitoramento desse potencial hídrico é feito a partir de sensores e atuadores vinculados a uma placa Arduino.

2. Revisão da literatura

Por conta do alto desgaste ambiental e suas consequências para o planeta, o IoT (Internet das Coisas), é uma alternativa para a melhoria da gestão dos recursos energéticos a fim de minimizar impactos ambientais negativos e conseqüentemente ser uma alternativa sustentável para uma melhor utilização ou reutilização desses recursos naturais. A partir disso, novas pesquisas relacionando o IoT e a gestão dos recursos hídricos são elaboradas com o objetivo de propor soluções sustentáveis para que novas tecnologias proporcionam um melhor aproveitamento da gestão desse recurso.

O trabalho de [HERMANY et al., 2017] demonstra uma tecnologia de automação com Arduino, utilizado na internet das coisas, para melhorar o aproveitamento dos recursos hídricos e da energia elétrica na agricultura. O Arduino foi uma solução de baixo custo eficiente para suprir as demandas de um sistema de irrigação automatizado, fazendo o controle e o monitoramento dos sensores utilizados no projeto.

Ao investigar os aspectos do consumo de água em instalações prediais de médio e grande porte, nota-se que a forma de medição desse consumo é um fator essencial para que se atinja um uso racional e uma economia na conta mensal [ILHA 2010]. Vários trabalhos têm avaliado a redução de consumo de água possibilitada por sistemas de medição individualizada, com valores variando de 15 a 30% [MALAN; CABTREE, 1997; ZEEB, 1998; YAMADA, 2001].

O trabalho de [DORNELAS et al., 2017] apresenta um sistema de monitoramento de consumo doméstico de água, utilizando uma meta-plataforma de IoT, com o objetivo de fazer uma monitoração em tempo real do consumo de água. Para fazer a automação, foi utilizado também o Arduino e os resultados foram significativos para a proposta de elaboração de um trabalho maior, com funções mais complexas, como por exemplo, a interrupção do consumo de água em caso de desperdício.

Diferentemente dos trabalhos de [HERMANY et al., 2017] e [DORNELAS et al., 2017], o trabalho proposto neste artigo faz além do monitoramento do consumo de água, o reaproveitamento do recurso hídrico que seria descartado pelos aparelhos de refrigeração, tornando-se além de uma solução automatizada para o processo de monitoramento, uma solução sustentável para a reutilização de água.

3. Metodologia para a concepção do protótipo e testes de viabilidade

A pesquisa teve seu desenvolvimento realizado no Instituto Federal de Sergipe - Campus Lagarto, mais especificamente no bloco 1 do prédio, onde estão localizados alguns dos setores institucionais, dentre eles, o setor médico e a biblioteca que dispõe de 5 aparelhos de ar-condicionado, todos do modelo Split.

Para a concepção do protótipo e testes de viabilidade da solução proposta, foram seguidas uma série de etapas. A figura 1 apresenta um fluxograma contendo as etapas que foram seguidas durante o projeto.

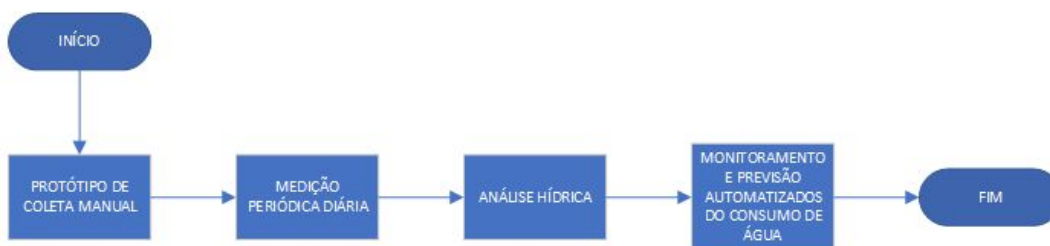


Figura 1. Fluxo de etapas do projeto

3.1. Protótipo de coleta manual

A partir de um protótipo de coleta de água manual, é possível ter uma breve noção de como será feita a captação da água condensada de todos os aparelhos de ar-condicionado do Instituto, com o objetivo de transferir o líquido captado para demais atividades, além de uma medição diária do mesmo.

O protótipo foi elaborado de forma simples e prática, podendo ser facilmente produzido pelos alunos e utilizado pelos funcionários. A Figura 2 exibe o modelo tridimensional do prédio do bloco 1 do instituto e a planta do protótipo de captação, detalhando como o mesmo foi desenvolvido.

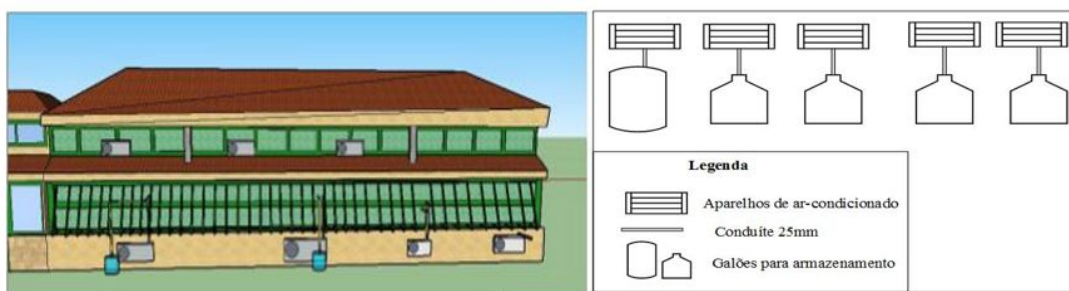


Figura 2. Modelo tridimensional e planta do protótipo de coleta manual.

Cada protótipo utilizado tem a capacidade de 20 litros de água, os quais foram instalados ao ar livre próximo ao acesso de onde o líquido condensado é expelido dos aparelhos de ar-condicionado. Esta etapa preliminar foi feita para estabelecer uma ideia do volume de água captado e de onde poderia ser reaproveitado, para posteriormente, transformá-lo em um sistema automatizado.

Os aparelhos de refrigeração já possuíam seus respectivos drenos de água instalados, portanto, a instalação dos protótipos foi facilitada. Os próprios conduítes de drenagem foram conectados aos galões de armazenamento para dar vazão à água proveniente do gotejamento. Também foi realizada uma vedação na entrada dos galões, ao redor dos conduítes. Todo condensado aproveitado foi destinado para atividades de uso não-potável, como lavagem do estabelecimento e descargas sanitárias. A Figura 3 exibe o resultado final da implantação do protótipo.



Figura 3. Protótipo de coleta manual.

3.2. Medição periódica diária

Com o protótipo de coleta manual em funcionamento foi possível realizar a medição diária da água gerada pelos aparelhos de refrigeração, a fim de ter a ciência da economia hídrica e financeira que pode ser resultado desse projeto.

A Figura 4 expõe os resultados das medições, em forma de gráfico, em litros por dia, separando-os por aparelho, data e horário, em que as mesmas foram realizadas por um período de 24 horas em cada dia, durante 14 dias úteis. Os aparelhos 1 e 2 mostraram ser aqueles que mais produzem água condensada, chegando aos catorze dias de medição liberando uma média de 613 litros. Os aparelhos 4 e 5 liberaram aproximadamente uma média de 333 litros. O aparelho 3 expeliu 283,5 litros de condensado. Por fim, a quantidade hídrica real reaproveitada durante todo período de medição foi de 2.176 litros de água.

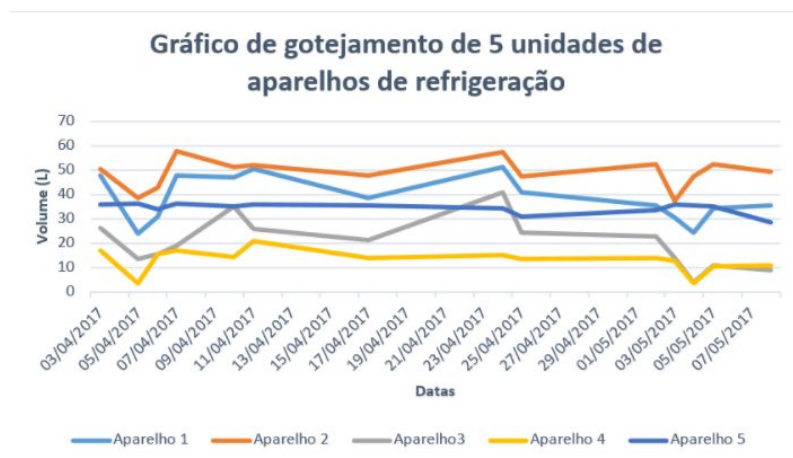


Figura 4. Gráfico de gotejamento diário de 5 unidades de aparelhos de ar-condicionado.

A Tabela 1 apresenta o valor das médias diárias de coleta de água durante o período. A média geral foi de 31,09 litros com desvio padrão de 5,36 litros de água por dia.

Horário (24 horas)	
Datas	Média diária (Litros)
03/04/2017	35,6
05/04/2017	23,2
06/04/2017	27,8
07/04/2017	35,7
10/04/2017	36,6
11/04/2017	37,1
17/04/2017	31,5
24/04/2017	39,9
25/04/2017	31,5
02/05/2017	31,7
03/05/2017	26,2
04/05/2017	23
05/05/2017	28,7
06/05/2017	26,7
Média Geral em 14 dias	31,09
Desvio Padrão	5,36

Tabela 1. Tabela de média de gotejamento diário de 5 unidades de aparelhos de ar-condicionado.

3.3. Análise hídrica

Para fins de verificação das propriedades químicas e de potabilidade da água proveniente dos aparelhos de refrigeração, foi realizada uma análise química para obter mais informações a respeito do líquido e saber para onde destinar o uso do mesmo. A análise feita no Laboratório de Tecnologia de Alimentos (LTA) da Universidade Federal de Sergipe (UFS) foi realizada utilizando a técnica de Número Mais Provável (NMP). Esta técnica permite determinar a densidade de microrganismos viáveis

presentes em uma amostra sob análise. Os testes foram feitos mais especificamente a fim de determinar a quantidade de coliformes totais e termotolerantes presentes em amostras de 100 ml da água proveniente de aparelhos de ar-condicionado. Coliformes são bactérias que estão divididas em totais e termotolerantes, os totais fermentam a lactose e produzem ácido e gás a 35/37 °C; já os termotolerantes são também conhecidos como fecais por serem encontrados mais comumente no trato digestivo e serem excretados em grandes quantidades nas fezes, normalmente não são ameaça quando estão no trato digestivo, mas ao se ingerir alimentos contaminados por coliformes uma série de doenças podem ser provocadas. Na análise não foi encontrada a presença de nenhum dos dois tipos de coliformes, o que está de acordo com a portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011 que regula a potabilidade da água no Brasil.

3.4. Monitoramento e previsão automatizados do consumo de água

É proposta ainda a medição e previsão de consumo de água em diferentes partes do campus Lagarto do Instituto Federal de Sergipe, através de sensores eletrônicos de vazão, que permitem coletas de maneira automatizada e criação de um histórico de consumo mais detalhado do que o verificado em medições mensais. Além disso, propõe-se que o sistema calcule uma estimativa de consumo diário, em paralelo à estimativa do volume captado dos aparelhos de refrigeração, de forma a controlar quando será necessário ativar a entrada de água vinda da companhia de saneamento.

Um sensor de vazão permite mensurar o fluxo de água que passa pelas tubulações, podendo ser feito também um estudo a respeito do desperdício de água. Elaborando uma média de fluxo de água durante uma descarga, por exemplo, possibilita o acompanhamento dos índices de consumo diário dos banheiros. Sendo assim, números que ultrapassam de forma significativa essa média diária, apontariam um suposto desperdício de água, a ser alertado e verificado pela equipe de manutenção predial.

A figura 5 apresenta o fluxograma de funcionamento do sistema de monitoramento de consumo de água. A partir de informações como por exemplo, o limite diário de consumo de água e a previsão de consumo de água para o dia, o algoritmo fornece instruções para os componentes do sistema de monitoramento. Caso o limite de consumo diário de água seja ultrapassado, será emitido um alerta para os gestores do campus, e logo após irá para a próxima instrução. Caso esse limite não seja ultrapassado, ele irá verificar se a previsão de consumo para o restante do dia é maior que o volume existente nos reservatórios. Se a resposta for sim, a solenoide será acionada, se for não, nada acontecerá. Após essas etapas, o sistema irá aguardar um novo ciclo de monitoramento.

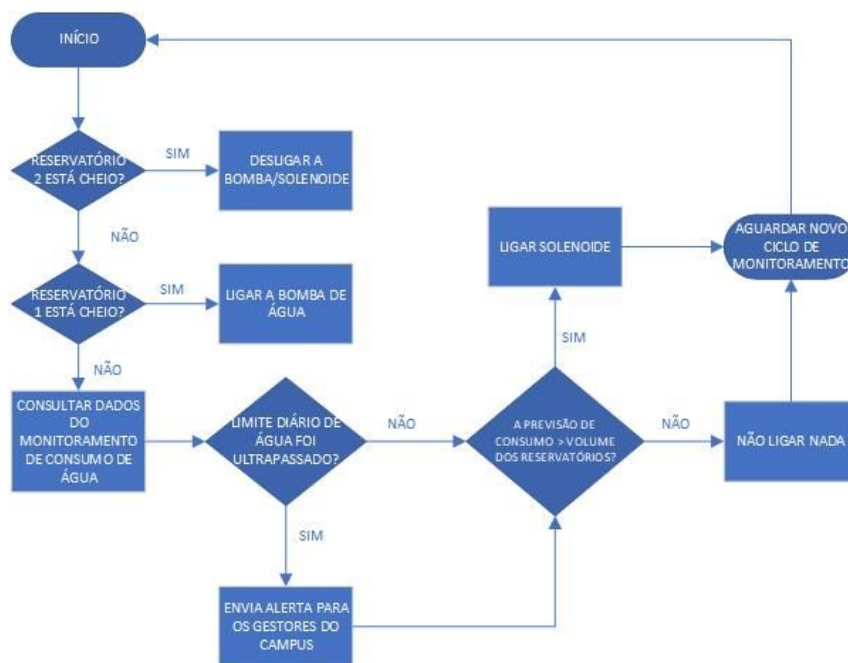


Figura 5. Fluxograma de funcionamento do sistema de monitoramento de consumo de água.

4. Resultados e discussão

Uma maquete foi desenvolvida como prova de conceito do projeto, com a intenção de realizar testes de funcionalidade do sistema automatizado. A Figura 6 expõe a planta de funcionamento da mesma juntamente com numeradores que indicam a ordem das etapas do sistema hidráulico automatizado que pode ser explicado da seguinte maneira: a água escoada dos aparelhos de ar- condicionado escorre pela tubulação até o reservatório 1, que se encontra no subterrâneo. Após atingir determinado nível, o sensor de nível 1 é acionado e a água é bombeada, passando pelo sensor de vazão que fará a mensura do fluxo de água e a destinará ao reservatório 2, que se localiza sobre o bloco dos banheiros, para uso nas descargas. O sensor de nível 2 é acionado quando o reservatório 2 estiver cheio, fazendo com que a bomba d'água seja desligada. Em último caso, quando ambos os reservatórios estiverem vazios, será feita uma análise através de um sistema de monitoramento e previsão automatizados de água, o qual irá verificar se a média de consumo diária do prédio foi atingida. Caso a média não tenha sido ultrapassada, será acionada a válvula solenoide e a água da companhia de saneamento é utilizada. Todo o controle e gerenciamento do sistema é feito a partir do microcontrolador Arduino.

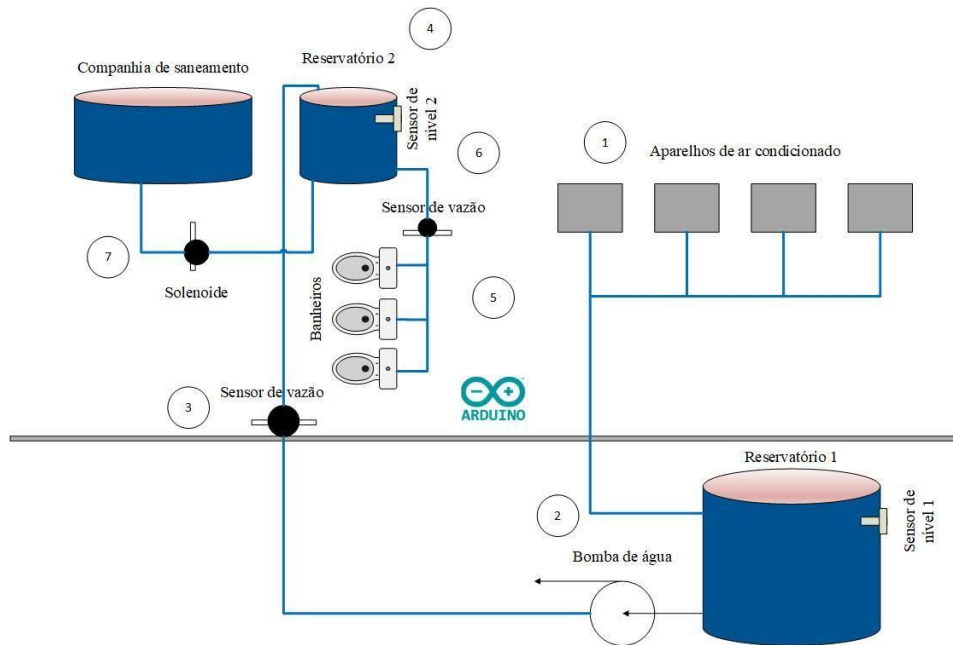


Figura 6. Planta de funcionamento da maquete.

A Tabela 2 expõe os testes de funcionamento que foram feitos na maquete, acompanhados pelos componentes contidos em cada um deles e seus objetivos finais. O teste 1 simula o abastecimento do reservatório 1 pela água proveniente do gotejamento dos aparelhos de refrigeração, que acionando o sensor de nível 1, ativa a bomba d'água. O teste 2 representa o enchimento do reservatório 2, onde o sensor de nível 2 é acionado e a bomba d'água desligada. O teste 3 trata da contabilização dos mililitros de água que passam pelo sensor de vazão. E o teste 4, é a solução para os momentos em que ambos os reservatórios estejam vazios, e a válvula solenoide é ativada para ser feita a utilização da água da companhia de saneamento.

Testes	Componentes	Objetivos
Teste 1	Sensor de nível 1 e bomba d'água	Com o sensor de nível 1 acionado, a bomba d'água deve ser ligada
Teste 2	Sensor de nível 2 e bomba d'água	Com o sensor de nível 2 acionado, a bomba d'água deve ser desligada
Teste 3	Sensor de vazão	Contabilizar em mililitros a água que passa pelo sensor de vazão
Teste 4	Solenoide	Acionar Solenoide quando ambos os reservatórios estiverem vazios

Tabela 2. Testes realizados na maquete.

Todos os testes foram feitos e obtiveram os resultados desejados, alcançando suas metas e provando a funcionalidade do sistema hidráulico automatizado. A Figura 7 apresenta as imagens dos equipamentos em teste na maquete desenvolvida, de acordo com a numeração seguida na Tabela 2.



Figura 7. Fotos ilustrativas dos testes de funcionalidade.

A maquete final pode ser vista na Figura 8. Esta maquete simula o bloco 1 do campus e permitiu a realização dos testes nos sensores e atuadores do sistema proposto, auxiliando na demonstração preliminar de viabilidade, essencial para motivar a construção de um projeto que contemple todo o campus e justifique a destinação de recursos financeiros para sua implantação.

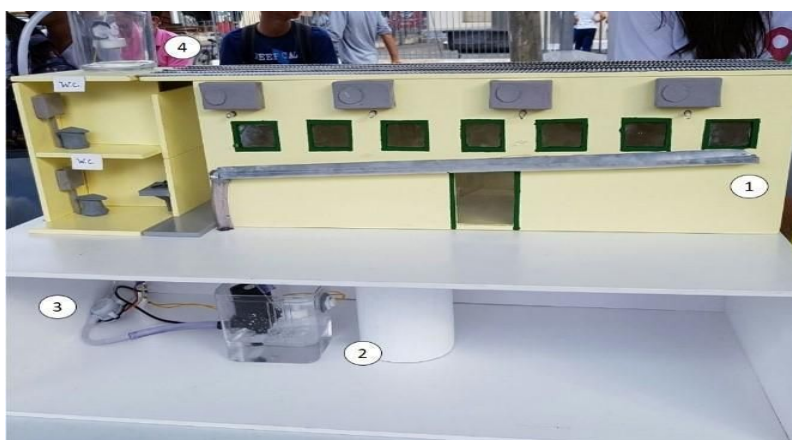


Figura 8. Resultado final da maquete.

5. Conclusões

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou a produção de uma tecnologia inovadora, de baixo custo e excelente funcionalidade de viés sustentável que permite a captação e reutilização da água condensada que é expelida dos sistemas de refrigeração. Além disso, propôs o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de consumo de água que auxilia o gerenciamento e o reaproveitamento de água no campus.

Os testes de funcionalidade feitos na maquete provaram que a proposta do sistema hidráulico automatizado teve um bom desempenho no reuso do condensado, uma vez em que a situação hídrica nacional e até mesmo global anseia por novas formas de economia e reciclagem desse recurso natural.

O protótipo de coleta manual auxiliou nas medições diárias e posteriormente mensais, fazendo com que fosse dada uma noção da quantidade de água disponível para atividades de uso não-potável, que era desperdiçada. Além disso, auxiliou na conscientização da população do Instituto, dado que os profissionais da limpeza passaram a utilizar o condensado, tornando a mesma mais consciente.

Dada a relevância desse tema, torna-se mais do que necessário que novos trabalhos e projetos voltados à área surjam e se desenvolvam, efetivando assim a prática

sustentável em todos os locais, como foco de atenção e preocupação. Como trabalhos posteriores, propõe-se o tratamento da água condensada para tornar-se potável, uma vez que dessa forma poderia ser utilizada para atividades ainda mais abrangentes.

Referências

- ANA, Agência Nacional de Águas (Brasil). Boletim de Acompanhamento dos Reservatórios do Nordeste do Brasil / Agência Nacional de Águas, Superintendência de Operações e Eventos Críticos. Brasília : ANA, 2017. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/saladesituacao/BoletinsMensais/ReservatorioNordeste/Boletim_Monitoramento_Reser_Nordeste_2017_1507.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2018.
- BRASIL. Portaria n. 2.914, de 12 de Dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF, v. 239, p. 39-46, 12 dez. 2011. (Série ou Coleção). Seção 1.
- DORNELAS, Everton et al. Monitoramento de Consumo Doméstico de Água Utilizando uma Meta-Plataforma de IoT. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, v. 2, n. 2 p. 136-147, 2017.
- HERMANY, Jonas D. et al. Internet das coisas: Arduino como solução de automação para melhor aproveitamento dos recursos hídricos e da energia elétrica na agricultura. Revista Conexão, v. 6, p. 184-199, 2017.
- ILHA, Marina S. et al. Sistemas de medição individualizada de água: como determinar as vazões de projeto para a especificação dos hidrômetros?. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 15, n. 2, p. 177-186, 2010.
- MAGRINI, A; CATTANI L.; CARTESEGNA M.; MAGNANI L. Integrated Systems for Air Conditioning and Production of Drinking Water – Preliminary Considerations. Clean, Efficient and Affordable Energy for a Sustainable Future: The 7th International Conference on Applied Energy (ICAE2015), Milão, v. 75, n. 247, p. 1659-1665, Aug. 2015. Acesso em: 05 set. 2016.
- RELATÓRIO da ANA apresenta situação das águas do Brasil no contexto de crise hídrica. Agência Nacional de Águas. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/noticias/relatorio-da-ana-apresenta-situacao-da-s-aguas-do-brasil-no-contexto-de-crise-hidrica>>. Acesso em: 14 mar. 2018
- TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. M. Cenários da Gestão da Água no Brasil: Uma Contribuição para a “Visão Mundial da Água”. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Rio de Janeiro, v. 5, n. 3, p. 31-43, Jul./Set. 2000. . Acesso em: 20 jun. 2016.
- YAMADA, E.S. Os impactos de medição individualizada do consumo de água em edifícios residenciais multifamiliares. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- ZEEB, W. A holist approach to metering value. In: ANNUAL AMRA SYMPOSIUM, 11 th 1998 Washington. Proceedings. Washington, 1998.