

# P214: Tripla Eficiência Energética no Aquecimento de Piscinas Ciclo 2016/2017

Maria Teresa Voltarelli<sup>1</sup>; Claudio Azer Maluf<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Comgás – Companhia de Gás de São Paulo.

<sup>2</sup> Solve – Eficiência Energética, Projetos e Consultoria em Engenharia Ltda.

**Resumo** – São identificados, no processo de aquecimento de piscina a gás natural, três principais caminhos para a melhoria da eficiência energética. Estes caminhos são os seguintes: (a) aumento da eficiência no processo de transferência de calor para a água; (b) redução das perdas térmicas na piscina; (c) otimização do controle de temperatura da água da piscina, com base em parâmetros de utilização e em parâmetros microclimáticos.

Neste trabalho, são estudadas estratégias para o aumento da eficiência energética nestas três frentes. Para a primeira delas (a), foi construído um protótipo funcional de um recuperador de calor de gases de exaustão, para utilização em aquecedores de passagem, objeto de estudo de trabalho de pesquisa anterior, quando tal dispositivo foi simulado computacionalmente, através de ferramenta de CFD; para a segunda frente (b), foram testados líquidos retardadores da evaporação que, alegadamente, por reduzir a taxa de evaporação da água da piscina – principal mecanismo de transferência térmica – reduziram o consumo energético para manutenção da temperatura de conforto. No que tange à otimização do controle de temperatura (c), o estudo aborda o desenvolvimento de um dispositivo controlador de temperatura inteligente, conectado, capaz de variar a temperatura programada, com base em parâmetros de uso e climáticos.

Palavras-chave: recuperação de rejeitos térmicos; ducha de baixíssima vazão; recuperação de água estagnada; gás natural; eficiência energética.

## Introdução

Os sistemas de aquecimento a gás natural são percebidos pelo mercado como os mais confiáveis, pois, ao contrário de sistemas de aquecimento tais como o solar, ou a bomba de calor elétrica, os sistemas a GN sofrem menos com as variações climáticas. Além disso, este sistema ocupa, proporcionalmente, pouco espaço para instalação (potência instalada/volume) e emite muito pouco ruído.

Dito isto, a principal barreira deste tipo de sistema, frente à concorrência é, portanto, o custo operacional, e é com o intuito de reduzir-se este custo, tornando o sistema de aquecimento a GN mais competitivo, que este trabalho foi desenvolvido.

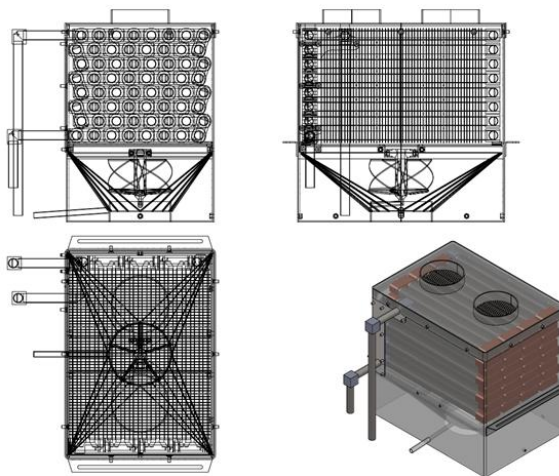
Para a diminuição do custo operacional, a abordagem deste trabalho de pesquisa é a busca pela melhoria da eficiência, no que diz respeito à produção/transferência do calor, às perdas térmicas e à forma de controle da temperatura da água na piscina. Através de uma abordagem em três frentes, espera-se obter uma redução da quantidade de energia térmica necessária para o aquecimento e manutenção da temperatura da piscina, sem prejuízos ao conforto dos usuários.

## Desenvolvimento

A pesquisa foi desenvolvida em três principais frentes de trabalho e cada uma delas visava o atingimento de metas específicas. A metodologia adotada para o desenvolvimento do trabalho, em cada uma das etapas, será descrita na sequência.

A. *Recuperação de calor dos gases de exaustão*

Parte do escopo do projeto de P&D “P203 – Solução EcoHouse para o Uso Consciente da Água e Melhoria de Eficiência Energética em Sistemas de Aquecimento de Água a Gás Natural”, executado pela Solve no ciclo 15/16, foi a concepção, modelamento e simulação computacional em CFD de um recuperador de calor para uso em aquecedores de água de passagem a GN. Já no escopo do presente trabalho, foi construído um protótipo deste dispositivo, com base nos resultados do melhor modelo simulado previamente. Após construção do protótipo, este foi, então, submetido a testes de performance térmica, de modo a possibilitar a aferição da melhoria do rendimento de queima obtida através de sua adoção. Abaixo, modelo em 3D e fotos do protótipo construído.





Abaixo, imagens dos testes executados com o recuperador de calor de gases de exaustão acoplado a um aquecedor de água de passagem a gás natural:



A concepção do dispositivo, assim como seus testes, levaram em consideração, também, a formação de condensado, sua drenagem e neutralização.

A montagem para testes foi instrumentada com sensores de temperatura e de pressão, de modo a tornar possível a quantificação do incremento de temperatura, bem como da perda de carga imputada ao sistema de circulação de água. Os principais resultados são mostrados e discutidos na próxima seção.

#### *B. Redução das perdas térmicas na piscina – “liquid pool cover”*

Uma das estratégias mais utilizadas para a redução das perdas térmicas em piscinas é o uso de capas térmicas. Ocorre que a colocação e retirada destas capas é, normalmente, bastante trabalhosa e, muitas vezes, deixa de ser utilizada por conta das dificuldades inerentes ao seu uso. Como alternativa, esta frente de trabalho selecionou e testou produtos químicos conhecidos como “liquid pool covers”, ou capas térmicas líquidas, na tradução livre do inglês. Este

tipo de produto, bastante difundido no exterior, alegadamente cria uma película superficial, com espessura monomolecular, o que evita – ao menos parcialmente – a evaporação da água da piscina. Como este é o principal fenômeno de transporte de energia (e massa) atuante em uma piscina, reduzindo-se sua taxa, a consequente redução de consumo energético para a manutenção da temperatura da água também seria atingida. Como adicional, o consumo de água para reposição do nível da piscina também seria reduzido.

Os produtos escolhidos – dois dos mais utilizados - foram o EcoSavr e o Heat Trapper, produzidos respectivamente pelas empresas Flexible Solutions e Pool Basics.



Para testar a eficácia dos produtos, foram executados ensaios em ambiente controlado e também em campo. Dentro da etapa de testes em ambiente controlado, foram executados comparativos simultâneos com o uso de recipientes de diversos tamanhos, desde bacia, passando por aquários e, finalmente, miniaturas de piscinas. Alguns destes testes consistiram do aquecimento de dois volumes distintos de água, em condições idênticas, sendo que apenas em um deles, adicionou-se o líquido retardador evaporativo (liquid pool cover). Ambos os volumes de água receberam instrumentação suficiente para que fosse feita a extração das curvas de temperatura x tempo, assim como de consumo energético para aquecimento x tempo. Abaixo, foto de um dos arranjos preparados e utilizados durante os ensaios. Os resultados são apresentados e discutidos na seção seguinte.



Testes de campo também foram realizados, posteriormente, em uma piscina de condomínio. Abaixo, imagens da piscina e do sistema

dosagem de “liquid pool cover” instalado na linha de retorno de filtração da piscina.



### C. Otimização do controle de temperatura da água.

Os objetivos iniciais do sistema de controle inteligente de temperatura, objeto deste trabalho de pesquisa eram:

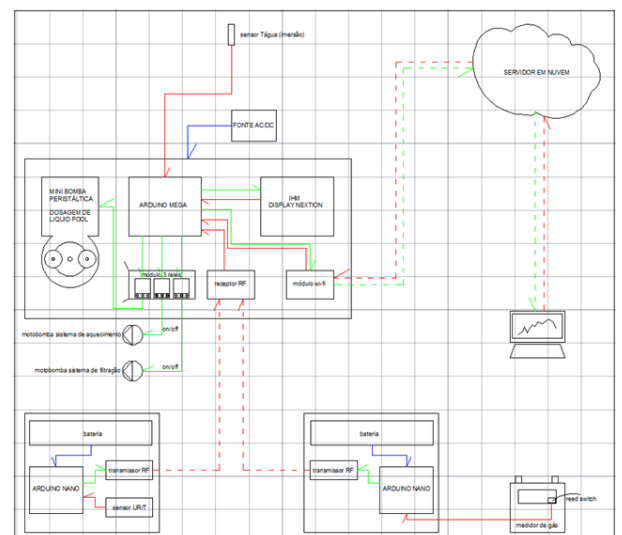
- Permitir a variação da temperatura de manutenção da água (setpoint) de acordo com as características de utilização da piscina: período de abertura, frequência e intensidade de utilização nos dias da semana;
- Promover a variação da temperatura de manutenção da água (setpoint) de acordo com condições microclimáticas. Desta forma, em momentos nos quais a temperatura do ar ambiente está muito baixa (em termos absolutos mas, também, em termos relativos à temperatura da água da piscina), ou quando a umidade relativa do ar está muito baixa, então, automaticamente, reduz-se a temperatura da água, de forma a minimizar esses diferenciais aceleradores de perdas térmicas e, portanto, de aumento de consumo energético.

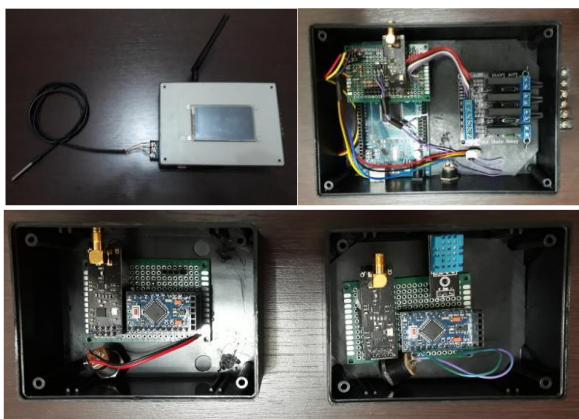
A ideia de se adotar tais estratégias é de buscar-se um aumento da eficiência energética no processo de aquecimento/manutenção da temperatura da água da piscina, com base nos padrões de utilização da piscina, e também das condições climáticas locais. Entende-se, não há necessidade de manter-se uma temperatura elevada nos momentos em que não há utilização, ou que a utilização é muito baixa. Da mesma forma, não há porque manter-se temperatura elevada da água, quando as condições climáticas são críticas. Em tal situação, parte-se do pressuposto que a utilização da piscina, naturalmente, será reduzida. Adiciona-se o fato de que, mesmo que haja uso da piscina em condições climáticas adversas, este, provavelmente, será para fins desportivos (natação), e não recreativos. Nesta situação, o usuário, normalmente, sente-se mais confortável quando a temperatura da água não é tão elevada. Além disso, utilizando-se a estratégia de redução da temperatura de manutenção nessas situações, reduz-se o risco de choque térmico.

Além destas características, presentes no escopo original do controlado, outras funcionalidades foram acrescentadas ao longo do desenvolvimento do projeto. São elas:

- Função data-logger: O sistema será capaz de registrar, ao longo do tempo, informações relativas ao processo de aquecimento, às variáveis climatológicas locais e ao consumo energético. Desta forma, cria-se um registro cujas funções são múltiplas: Em primeiro lugar, permitir ao operador, ou a quem preste manutenção no sistema, identificar anomalias de forma mais precisa, ou mesmo correlacionar um determinado comportamento atípico (por exemplo: consumo de gás elevado) com um ou mais eventos (por exemplo: mudanças no calendário de operação do sistema, temperatura ambiente muito baixa, ou aumento da temperatura da água). O registro, adicionalmente, serve para a formação de massa de dados a qual, combinada com registros diversos de outras piscinas, servirá como ponto de partida para o desenvolvimento de sistemas ainda mais inteligentes, eventualmente fazendo uso de inteligência artificial, redes neurais, etc. A gravação destes dados ocorre em servidor na nuvem. Assim, o operador do sistema consegue monitorar o funcionamento remotamente;
- Dosagem de líquido retardador evaporativo: A dosagem do líquido pode ser comandada, também, pelo controlador inteligente. A quantidade a ser administrada, assim como o(s) horário(s) de dosagem podem ser programados neste sistema, o qual aciona um relé para comandar uma bomba dosadora peristáltica, injetando o produto diretamente na linha de retorno da piscina, de forma automática.

A seguir, esquema do controlador desenvolvido e imagens do dispositivo prototipado:





A seguir, imagens das telas da interface de controle do dispositivo inteligente desenvolvido:



## Resultados

Por se tratar de um trabalho de pesquisa e desenvolvimento bastante amplo, não se pretende retratar nesta seção todos os resultados obtidos, e sim alguns dos mais relevantes. Para o caso da terceira fase do projeto.

### A. Recuperação de calor dos gases de exaustão

Nas simulações em CFD, realizadas em trabalho de pesquisa predecessor, citado anteriormente neste artigo, os resultados para a geometria vencedora do dispositivo recuperador de calor, a qual incorpora um difusor cuja função é homogeneizar o fluxo dos gases no interior do compartimento, mostraram ganho de eficiência de 14,6%, superando a meta de 10% pré-estabelecida.

Nos testes realizados com o protótipo funcional, o resultado superou ligeiramente as expectativas, atingindo incremento de rendimento de 16,18%.

Com isso, o aquecedor que, sozinho, apresenta rendimento da ordem de 83,1%, passa a atingir 96,54%. O incremento de temperatura obtido foi de 5,6°C, conforme se vê na imagem do data-logger, obtida durante os ensaios, abaixo:



### B. Redução das perdas térmicas na piscina – “liquid pool cover”

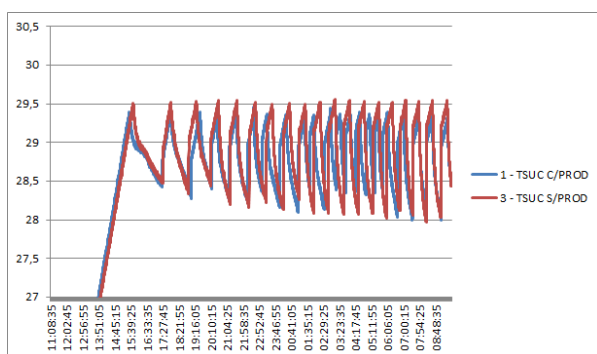
Foram realizados diversos ensaios para verificação de eficácia do “liquid pool cover”. Os resultados, descontados os outliers giram em torno de 3 a 5% de redução de consumo energético, aproximadamente.

A seguir, é descrito um dos ensaios realizados, representativos deste intervalo de verificações mais comumente encontradas.

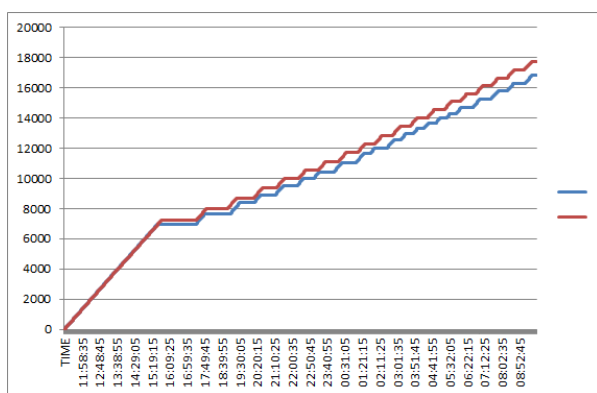
- Duração: 23h;
- Temperatura de Setpoint e Histerese: 29,5°C; -1°C;

- Temperaturas médias nos retornos das piscinas:
  - Com o produto: 28,58°C;
  - Sem o produto: 28,72°C.
- Temperaturas médias nas sucções das piscinas (sonda):
  - Com o produto: 28,32°C;
  - Sem o produto: 28,34°C.
- Temperatura ambiente:
  - Máxima: 28,77°C;
  - Mínima: 22,45°C;
  - Média: 24,70°C.
- Umidade relativa do ambiente:
  - Máxima: 79,45%;
  - Mínima: 51,24%;
  - Média: 67,87%.

O gráfico a seguir mostra a evolução das temperaturas coletadas nas sucções das piscinas (mesmo ponto onde se conectam as sondas de controle dos sistemas de aquecimento):



No gráfico a seguir, é mostrada a evolução dos consumos energéticos brutos em ambas as piscinas (com produto e referência), necessários para manter as piscinas dentro dos patamares de controle previamente estipulados. Estes consumos são expressos em Wh, sem qualquer tipo de correção em função das pequenas diferenças de temperatura.



Como se vê, o consumo energético para aquecimento da água na piscina com o líquido retardador se mostrou ligeiramente menor também neste teste. A diferença bruta é de 926Wh no período, ou, 5,22%. Como as

temperaturas médias coletadas através do sensor posicionado nas sucções das piscinas (mesmo local em que se inserem as sondas de controle dos sistemas de aquecimento) é praticamente a mesma (diferença de 0,02°C), então não há correção a ser aplicada neste caso.

Para os ensaios executados em campo (condomínio piloto), com dosagem automática de “liquid pool” por quatro dias consecutivos, não se observou qualquer efeito redutor de consumo energético.

Os resultados encontrados ficam aquém do que se esperava, e do que os fabricantes alegam. De qualquer forma, uma ressalva importante deve ser feita (aliás, vale como gatilho para a continuidade da pesquisa, no que tange à esta frente de trabalho): Todos os ensaios foram executados em piscinas cobertas, condição sob a qual as taxas de evaporação são, naturalmente, mais baixas. Como o “liquid pool” age no bloqueio deste fenômeno, diminuindo-se sua ocorrência, diminui-se seu conseqüente efeito. Sendo assim, sugere-se replicar a pesquisa em piscinas em ambientes abertos, condição em que o efeito do produto deve ser potencialmente maior.

Outro ponto a se destacar é que, durante o desenvolvimento desta frente de pesquisa, foi realizado um estudo teórico da eficácia de capas térmicas convencionais. Este dispositivo é capaz de bloquear por volta de 90% das perdas por evaporação. Considerando-se que as perdas térmicas por evaporação respondem por, em média, aproximadamente 60% das perdas totais, então o potencial redutor de consumo é da ordem de 54% durante o intervalo de tempo em que a capa é, de fato, utilizada. Considerando-se uma média diária de 8h de uso, o potencial de redução de consumo energético seria de 18%. Trata-se de redução bastante significativa e, dada a baixa eficácia verificada quando do uso do “liquid pool”, o uso da capa térmica convencional, embora incômodo do ponto de vista logístico, passa a ser uma alternativa a ser considerada. Um trabalho informativo no sentido da difusão dos benefícios potenciais da adoção da capa térmica aos usuários é um possível desdobramento deste trabalho de pesquisa.

### C. Otimização do controle de temperatura da água.

Embora o controlador inteligente de temperatura tenha sido concebido, testado em condições controladas, e instalado no condomínio, durante o comissionamento do sistema, diversos problemas se fizeram presentes, sendo que alguns destes problemas, caso negligenciados, colocariam em risco as instalações e, eventualmente, usuários. Buscou-se soluções para diversos dos problemas, entretanto, alguns deles se mostraram

mais complexos do que inicialmente se imaginou. Por questões de segurança, a equipe deste projeto optou por retirar o sistema do cliente e promover ajustes – parte deles conceituais até – de modo a sanar as falhas e, então, reinstalar o sistema no cliente para, a partir daí, promover os testes práticos de campo.

O detalhamento dos problemas enfrentados, assim como dos respectivos endereçamentos de soluções são encontrados a seguir:

Problemas com o invólucro dos módulos remotos – entrada de umidade: os invólucros foram substituídos;

Problemas com o sensor de umidade relativa do ar ambiente: os sensores de umidade relativa para a plataforma Arduino são de baixa qualidade e perdem ajuste rapidamente. O ambiente da piscina coberta, além do mais, é desfavorável para a colocação de sensores de umidade, pois apresenta, eventualmente, condensação. Apenas sensores de precisão operam nestas condições. Este é um problema que está sendo tratado atualmente. A ideia é trabalhar com dois sensores de temperatura (bulbo seco e bulbo úmido), desta forma, a umidade relativa seria extraída de forma indireta;

Problemas com o sensor de temperatura da água: Aqui, o problema não está no sensor em si, mas na perda de sinal ocorrida quando do caminhar prolongado do cabo de conexão dele. Nos testes controlados realizados na Solve, as distâncias de cabeamento foram curtas, então tal problema não foi identificado. Quando em campo, este cabo tinha, aproximadamente, 20m de comprimento, o que fez com que o sinal se perdesse praticamente por completo. A primeira solução adotada, neste caso, foi a de inserir filtros ao longo do cabo e aterrar uma das extremidades do cabo manga, entretanto, esta solução não surtiu efeito. Na sequência, substituímos o tipo de sensor – NTC, por um PT100. Para que não houvesse muita perda de sinal, e também para que fosse possível a conversão do sinal para recepção pelo Arduino, instalou-se um módulo conversor de 4 a 20mA na placa Arduino, e um transmissor de 4 a 20mA no sensor de temperatura. Sendo assim, o sinal transitava ao longo do cabo de 20m na forma de corrente, quando, então, era convertido, no Arduino, para a unidade de temperatura. Aqui o problema de perda de sinal foi resolvido, entretanto, outro problema, também muito grave, se instaurou. O sinal oscilava muito em torno de cada valor. Isto ocasionava acionamentos ou desligamentos inesperados dos relés que comandam as bombas do sistema de aquecimento. Trata-se, portanto, de um problema de segurança da operação ou, minimamente, de eficiência energética.

A solução que está sendo adotada no momento (já testada preliminarmente com sucesso) é a de não utilizar mais o módulo 4 – 20mA, mas sim, realizar a conversão do sinal direto no Arduino.

Além disso, está sendo criado um filtro no próprio software, de modo que oscilações oriundas de pequenos ruídos de sinal não reflitam em mudança real da temperatura apontada pelo instrumento. Assim, apenas variações consistentes na temperatura é que serão computadas para fins de controle do sistema;

Para o correto funcionamento do sistema, é necessário que ele próprio identifique data e horário instantâneo. Isto é fundamental uma vez que a base de sua operação é justamente um calendário, sobre o qual se distribui uma lógica de variação da temperatura de setpoint, de acordo com variáveis climáticas e de utilização, específicas do cliente. Sendo assim, para saber qual o setpoint a ser buscado em um determinado momento, o sistema precisa conhecer data e hora o tempo todo. Ocorre que, na versão inicial, esta informação era solicitada pelo sistema ao servidor em nuvem, o qual retornava com o dado para, então, a rotina seguir para o próximo nó lógico. Ocorre que, numa falha de transmissão/recepção, o sistema acaba por operar as cegas. Se isto ocorre, por exemplo, quando o sistema de aquecimento está desligado, o problema não é tão grande (é apenas de funcionalidade, não de segurança), entretanto, se isto ocorre quando o sistema de aquecimento está acionado, assim permanecerá, acarretando em diversos riscos importantes.

Uma alternativa já tentada foi a de se implementar uma bateria de relógio no próprio módulo Arduino, de forma que data e hora pudessem ser informados pelo próprio sistema, sem dependência da conexão com a nuvem. Em tese, a solução é válida, mas na prática, mostrou-se, também, problemática. Ocorre que estes módulos de relógio interno apresentam precisão muito baixa. Em questão de uma semana, há perda de ajuste superior a uma hora;

Outro ponto problemático crítico é o seguinte: A ideia é que o sistema possa, além de realizar o controle do sistema de aquecimento, também opere como data-logger, registrando diversas variáveis ao longo de sua operação. Em princípio, não havia nada de errado com o fato de duas atividades serem feitas concomitantemente (controle e registro). Todos os dados seriam enviados, em bateladas, para a nuvem, e, então, salvos apenas no servidor (sem backup local). Ocorre que, quando uma conexão sobre instabilidade, o envio de um pacote de dados acaba por não ocorrer e, portanto, cria um buraco no meio da sequência de dados. Optou-se, então, pela inserção de um módulo para gravação de cartão microSD no Arduino, porém, esbarrou-se em um problema estrutural grave: Se é necessário salvar os dados em um cartão, no formato de um arquivo, digamos, \*.csv, então não posso enviá-lo ao servidor. Trata-se de uma limitação do Arduino. Ele não faz envio de arquivos de texto. Sendo assim, o Arduino precisaria optar, ao longo do tempo, pela

execução de uma de duas tarefas: Ou ele controla o sistema, ou ele faz o envio de arquivo. Não é possível a realização de atividades simultâneas, pois o processador em questão tem apenas um núcleo. A solução que está sendo adotada agora envolve o uso de um controlador tipo Raspberry Pi, pois este se assemelha à um mini computador, capaz de enviar arquivos de texto, em bateladas, sem maiores problemas, deixando o Arduino livre para a tarefa de controle do sistema em tempo integral, sem depender de comunicação constante com o servidor em nuvem;

Por fim, a comunicação entre módulo principal e módulos remotos – por rádio frequência – embora tenha desempenhado bem nos testes realizados na Solve, em campo apresentaram limitações de perda de sinal ou de força de sinal. A solução que está sendo tomada no momento é a de se adotar controladores LoRa, os quais apresentam alto alcance e baixíssimo consumo energético. Trata-se de um padrão de comunicação largamente utilizado em soluções IoT, como é o caso desta.

Em continuidade ao projeto, objetivando a solução dos problemas enfrentados para, enfim, tornar possível a execução dos ensaios no piloto em campo, as seguintes ações estão sendo tomadas:

- Modificação do sistema de conversão de temperatura para o PT100 responsável pelo monitoramento da temperatura da água da piscina;
- Implementação de filtro de temperatura em software, para mitigar flutuações em cima das leituras;
- Exclusão do sensor de umidade relativa e substituição por mais um sensor de temperatura. Serão registradas Tbs e Tbu, de onde será extraída a umidade relativa;
- Inserção de cartão de memória para gravação local dos dados de registro;
- Inclusão de um Raspberry para envio dos arquivos de texto, em batelada, para o servidor, sem onerar o processador do Arduino, responsável pela tarefa de controle do sistema;
- Retirada dos módulos de rádio frequência e substituição dos controladores atuais por controladores LoRa, de alto alcance, inclusive em meios com obstáculos, e baixíssimo consumo energético;
- Implementação de módulo GPRS, com entrada para SIM Card, de modo a excluir-se a necessidade de um modem externo para a comunicação do controlador inteligente com a internet.

## Conclusão

Este trabalho de pesquisa procurou abarcar as três principais vertentes pelas quais o aumento da eficiência energética em piscinas pode ser obtido. No caso de uma destas frentes, o desenvolvimento da solução partiu de um dos produtos de um trabalho de pesquisa e desenvolvimento prévio, em que se desenvolveu o modelamento em CFD de um recuperador de calor para uso em aquecedores de passagem. Neste trabalho, o protótipo funcional foi construído e submetido a testes. O resultado obtido está em linha com o que as simulações previam, inclusive um pouco superior.

Na frente cujo o tema era a redução das perdas térmicas em piscinas, diversos ensaios com líquidos retardadores da evaporação foram executados. Neste caso, inclusive, foi construída uma infraestrutura inicialmente não prevista, para tornar possível a execução de ensaios comparados em paralelo, o que é a melhor alternativa quando se pretende mensurar a eficácia de algo. Os resultados de performance deste produto, entretanto, embora demonstrem algum ganho de eficiência (não confirmado nos testes em campo), este ganho é singelo. De qualquer modo, as limitações impostas pelas condições dos testes executados foram descritas, e, entende-se há espaço (e plausibilidade) para que sejam executados mais ensaios, em condições diversas, desde que haja disponibilidade de acesso aos produtos.

Em se tratando da frente de trabalho que abordava o atingimento da melhoria de eficiência energética através da otimização do uso do sistema de aquecimento de piscina, o escopo do dispositivo inicialmente proposto tomou dimensões maiores, tornando-se um dispositivo IoT (conectado). Foi incorporada a função de data-logger, o que permitirá que se registre dados relativos ao consumo de gás ao longo do tempo, bem como das variáveis microclimáticas e parâmetros de controle da temperatura da água da piscina. Nesta frente, entretanto, deve-se registrar que a complexidade da arquitetura do sistema não é compatível como o cronograma inicialmente proposto. Diversos problemas e ajustes no sistema fizeram com que atrasos se multiplicassem, impedindo, infelizmente, a realização dos testes em campo do dispositivo de controle inteligente. De qualquer forma, os problemas remanescentes foram todos endereçados e estão sendo trabalhados para permitir que se possa testar uma versão segura do sistema no cliente. Os resultados dos testes que ainda serão realizados em campo serão relatados em adendo a ser incorporado à documentação hora disponibilizada.