

# P265: A Integração Gás Natural & Energia Solar para o Aquecimento de Água em Instalações de Pequeno e Médio Portes

## Ciclo 2020/2021

Vitor C. Randoli<sup>1</sup>; Claudio Azer Maluf<sup>2</sup>; Lucas de O.S.Campos<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Innovatori Engenharia Ltda.

**Resumo** – A utilização de fontes de energia renováveis para aquecimento de água, sobretudo a energia solar, tem sido amplamente fomentada e, de fato, adotada no Brasil e no mundo. Sistemas de aquecimento solar de pequeno e médio porte, normalmente aplicáveis a residências unifamiliares ou pequenos comércios, utilizam como fonte complementar para a geração de calor, por padrão, a energia elétrica. Esta é a configuração mais observada, embora não seja a única possível. Por outro lado, o gás natural pode ser um ótimo complemento à energia solar para tal aplicação, entretanto, a determinação da combinação entre tipologia do sistema híbrido e seleção dos componentes da maneira mais adequada a uma dada situação particular é uma tarefa tão importante quanto complexa e, por isso, comumente negligenciada. A consequência desta negligência pode ser, em última análise, a conclusão falsa de que o gás natural não é uma boa opção para a composição de sistemas híbridos com a energia solar.

A escolha da melhor tipologia e forma de controle para um dado sistema, sob o ponto de vista da eficiência energética e operacional, é função das características do local de instalação e, sobretudo, do perfil de utilização da água quente. A proposta do presente trabalho é, então, a criação de uma metodologia, com base em simulações computacionais, análises de transiente e execução de testes instrumentados, em ambiente controlado, cuja adoção permitirá a escolha da melhor configuração do sistema de aquecimento de água “solar + gás”, dadas as especificidades ambientais e de utilização, trazendo ganhos de eficiência energética, de custo e de qualidade de operação, realçando o potencial e as vantagens do GN enquanto fonte complementar da energia solar, em substituição a energia elétrica.

Palavras-chave: aquecimento de água, sistema híbrido, sistema solar térmico.

### Objetivos e Metas

Este trabalho tem como foco o estudo de instalações de SAS de pequeno/médio porte em residências unifamiliares. Seu objetivo é compreender, dentre as diversas possibilidades de combinações de sistemas SAS+GN, o grau de adequação de cada uma delas às condições de instalação e, sobretudo, aos hábitos de uso da água quente, sob os pontos de vista da eficiência energética, do conforto/disponibilidade do sistema criando, para tanto, uma metodologia e sistematizando o processo de seleção do sistema mais eficaz para cada arranjo de premissas.

- Para tanto, as metas do projeto são:
- Mapeamento das tipologias de sistemas de aquecimento híbridos “SAS + E.E.” e “SAS + GN”;
- Mapeamento das formas de controle comumente utilizadas nos sistemas de aquecimento híbridos “SAS + E.E.” e “SAS + GN”;
- Modelamento e simulação computacional das tipologias e formas de controle mais representativas, tanto para híbridos com E.E. como híbridos com GN, levando-se em consideração diferentes perfis de utilização da água quente e diferentes cenários ambientais;
- Estudo e proposição de diferentes tipologias de arranjos entre SAS e GN para aplicações de pequeno e médio porte;
- Modelamento e simulação computacional das diferentes tipologias de arranjos “SAS + GN” estudados e propostos, sob diferentes perfis de utilização da água quente e cenários ambientais;
- Realização de ensaios físicos instrumentados para os arranjos e formas de controle de sistemas híbridos “SAS + GN”;
- Com base na análise dos resultados das simulações computacionais e ensaios instrumentados, criação de metodologia para a seleção do sistema “SAS + GN” de pequeno ou

médio porte, apropriado às condições de utilização, abrangendo:

- Determinação da tipologia com maior grau de afinidade com as condições da aplicação em questão;
- Seleção de cada componente: reservatórios, coletores solares, aquecedor, bombas, etc.;
- Estimativa da fração solar esperada, bem como do consumo de GN.
- Criação de ferramenta para seleção do sistema híbrido de aquecimento “SAS + GN” de pequeno ou médio porte, com base na metodologia criada, e abrangendo o escopo contido no item anterior;
- Análise da aplicabilidade dos coletores solares híbridos “PV-Ts” em conjunto com sistema de aquecimento a gás natural para a finalidade de geração de energia elétrica e aquecimento, ainda que parcial, de pequenas piscinas.

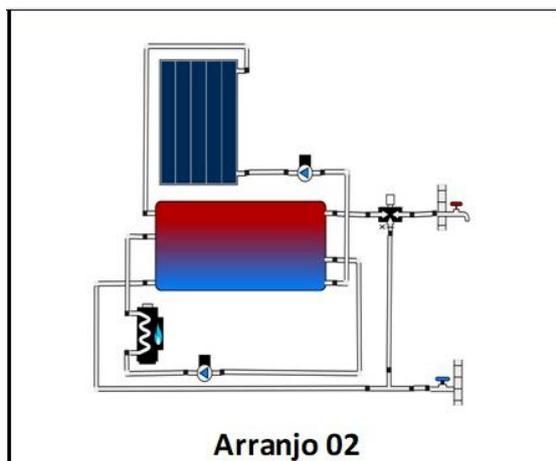
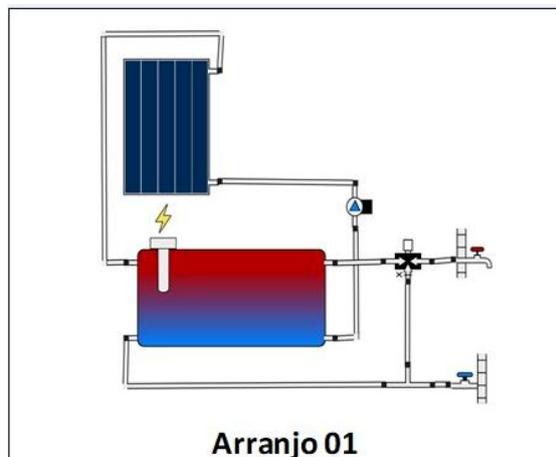
### Desenvolvimento & Metodologia

A pesquisa foi desenvolvida em quatro etapas e cada uma delas visa o atingimento de metas específicas. A seguir são descritas, de forma resumida, cada uma das etapas.

#### A. Estudo de Tipologias e Mapeamento de Componentes

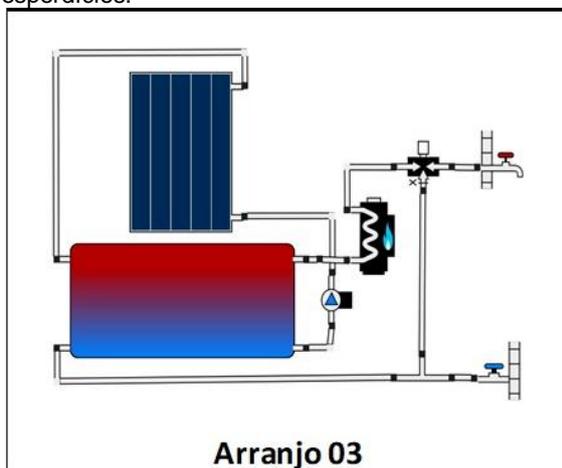
Foram mapeadas as tipologias hidráulicas para sistemas de aquecimento de água por energia solar, com apoio por resistência elétrica ou por gás natural mais utilizadas para instalações de pequeno porte. A tipologia para sistema com apoio elétrico mais comumente encontrada é a mostrada no arranjo 01, a seguir. Nesta tipologia, os coletores solares se conectam ao reservatório térmico em circuito fechado e há uma resistência elétrica inserida no próprio reservatório. Já para o caso de sistema com apoio a gás, há um segundo circuito fechado interligando

reservatório térmico e um aquecedor de passagem a gás. Neste caso, portanto, o aquecedor de passagem opera na recuperação de calor da água armazenada no reservatório térmico (arranjo 02).

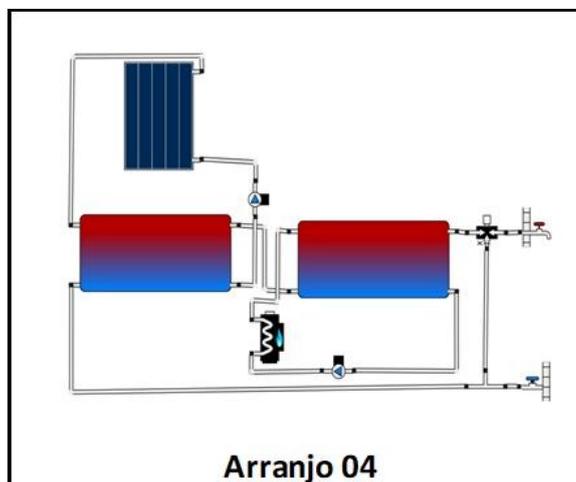


Outras tipologias foram analisadas, inclusive algumas eventualmente adotadas para instalações de grande porte. Dentre as análises, foram escolhidas para detalhamento e simulações as seguintes:

Arranjo 03: Neste arranjo, o sistema de aquecimento complementar, a gás natural, não opera para reposição da temperatura da água armazenada, mas sim para complemento de temperatura da água. Este tipo de arranjo tende a ser mais econômico, uma vez que a fonte de energia auxiliar (gás) opera somente para complementar a demanda térmica, portanto sem desperdícios.



Arranjo 04: Neste arranjo, também selecionado para detalhamento e simulações, o sistema de aquecimento complementar opera para reposição de calor em um reservatório térmico secundário, de menor porte do que aquele que se conecta com os coletores solares, e em série com este. Desta forma, na eventual necessidade de atuação da fonte complementar a gás, o aquecedor de passagem é acionado para recuperar a temperatura de um volume bem menor do que seria necessário no caso do arranjo 02.



Definidas as tipologias a serem simuladas, ainda nesta etapa foi feito um levantamento dos principais componentes e modelos disponíveis no mercado (coletores solares, reservatórios térmicos e aquecedores de passagem a gás natural). O mapeamento destes componentes serviu como base paramétrica para as simulações. Dados dimensionais, volumétricos, de potência, rendimento, eficiência e isolamento térmico foram tomados, em termos médios para cada classe representativa, e alimentaram a ferramenta de simulação computacional.

### B. Modelamento e Simulações Computacionais

Cada tipologia selecionada foi modelada computacionalmente em software de simulação baseado em Matlab. Foram então definidas as variáveis a serem concatenadas de modo a resultar em uma série de simulações a serem feitas. A tabela abaixo resume as variáveis utilizadas e os graus de variação tomados para cada uma delas:

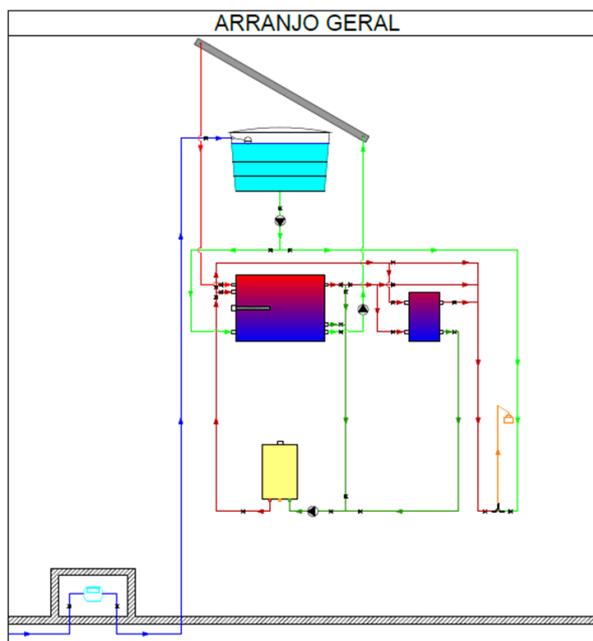
Variáveis das Simulações		
Perfis de consumo	4535	Os perfis de consumo englobam a totalidade de banhos, divididos em 4 períodos do dia, indo de apenas 1 banho ao dia até 10 banhos por dia.
Regiões	4	Campinas, Santos, São José dos Campos e São Paulo
Ângulo dos coletores com relação ao Norte	5	90, 112,5, 135, 157,5, 180
Quantidade de coletores / cenário	3	Para cada perfil de consumo, as simulações são efetuadas com 3 quantidades diferentes de coletores solares
Quantidade de tanques / cenário	3	Para cada perfil de consumo, as simulações são efetuadas com 3 tamanhos de reservatórios
Performance dos equipamentos	2	Alta e baixa
Arranjos de componentes	4	4 configurações hidráulicas foram rodadas para todos os cenários

Foram definidos 4535 diferentes perfis de consumo, considerando, para tanto, quatro janelas distintas de utilização da água quente (manhã, tarde, noite, madrugada), quantidade de banhos totais diários variando de 1 a 10, considerando-se ou não a ocorrência de uso simultâneo da água em uma ou mais ocasiões durante o dia. Todos os perfis de consumo foram simulados para as quatro regiões tomadas, para as cinco condições de orientação de coletores em relação ao norte, para as três possibilidades de quantidades de coletores solares, para as três possibilidades de volumes de reserva térmica, para dois níveis de eficiência energética dos componentes dos sistemas e para as 4 configurações hidráulicas selecionadas. O cruzamento de possíveis combinações resultou em uma base de mais de 6 milhões de simulações.

O software foi então configurado para rodar bateladas de simulações em sequência, e foram processadas bateladas de simulações em paralelo (múltiplos núcleos de processamento atuando concomitantemente).

### C. Ensaios Práticos Instrumentados

Além da etapa de simulações computacionais, e de forma a complementar estas simulações, foi montado na Innovatori um arranjo hidráulico que combina as quatro tipologias consideradas neste trabalho. Através de manobra de registros, configura-se o sistema para operação em qualquer um dos quatro modos. Abaixo, esquemático do arranjo montado na Innovatori:



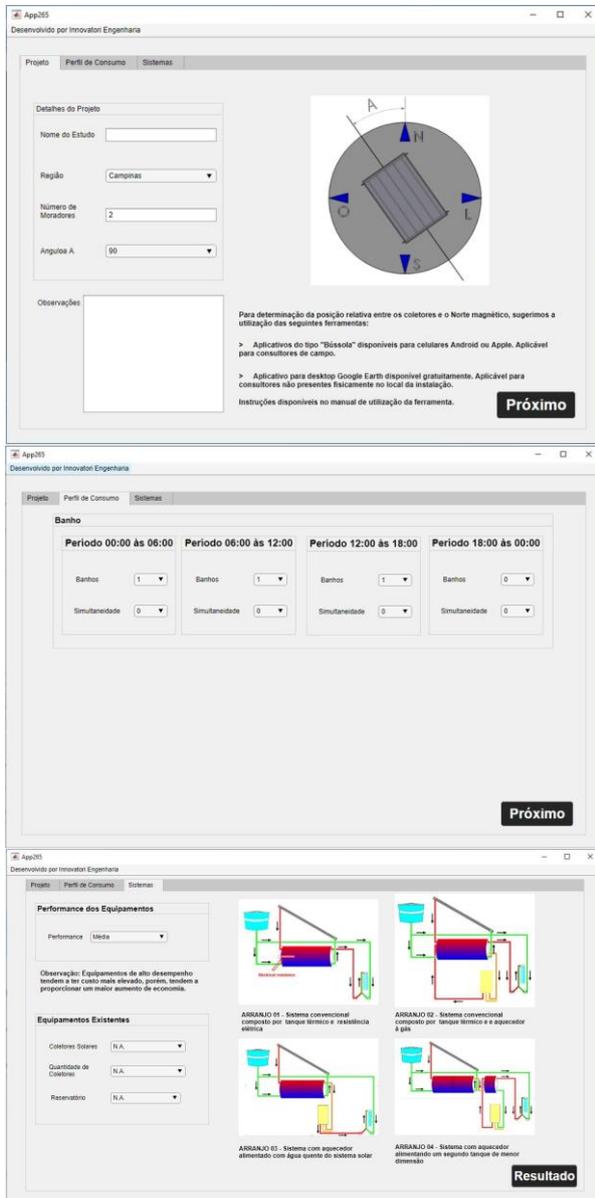
Todo o arranjo foi instrumentado e todos os instrumentos conectados a um data-logger para aquisição dos dados em intervalos curtos e pré-definidos de tempo. A seguir, fotos das instalações:



### D. Criação de Ferramenta

Nesta etapa foi desenvolvido um software em Matlab cuja função é receber entradas de dados referentes a uma instalação (localização da instalação, orientação da instalação em relação ao norte, grau de eficiência e perfil de uso da água quente). A partir da inserção destes dados, o software procede, dentro da base de dados de simulações executadas, a busca pelas simulações que se correspondem aos dados informados. O software retorna, então, um ou mais relatórios de resultados, sendo um para cada configuração possível de sistema. Para cada um dos relatórios retornados são apresentados dados de desempenho, importantes para o processo de escolha do tipo mais adequado. Dentre os dados, destaca-se a fração solar, que é o parâmetro que informa o percentual médio anual de contribuição da energia solar no processo de aquecimento da água.

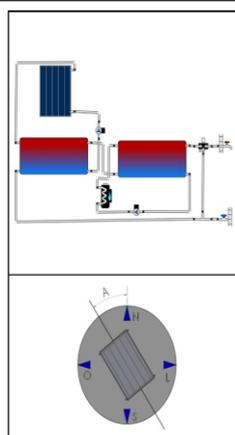
A seguir, sequência de telas da ferramenta de busca por simulações mostrando, respectivamente: entrada de dados da instalação, entrada de dados de perfil de uso de água quente e entrada de dados de definição de padrão de instalação :



A seguir, exemplos do relatório de resposta resgatado e mostrado pelo software:

#### Arranjo 4 - Solar e GN - 2 Reservatórios

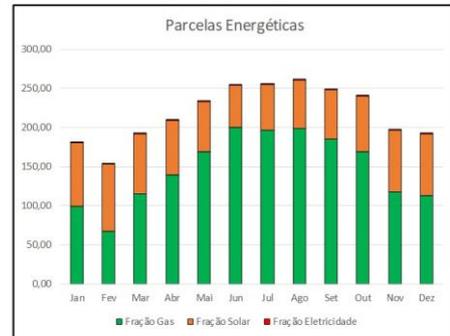
Informações Iniciais	
Moradores	4
Localização	Santos
Performance dos Equipamentos	Média
Ângulo com relação ao solo	30
Ângulo com relação ao Norte (A)	90
Área por coletor (m <sup>2</sup> )	1 m <sup>2</sup>
Número de Coletores	7
Capacidade do Tanque	700 Litros
Potência do Aquecedor	37,3 kw/h
Banhos - Período 1	1
Banhos - Período 2	3
Banhos - Período 3	3
Banhos - Período 4	0



#### Resumo do Desempenho (Anual)

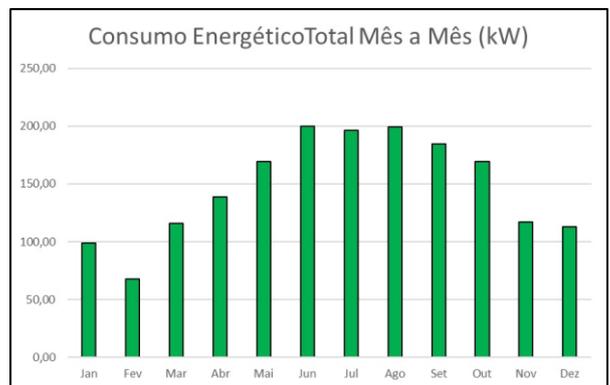
Consumo Total de energia ( GAS + Eletricidade) (kW)	4486,80
Consumo Total de Energia Elétrica (kW)	4,40
Consumo Total de GN (m <sup>3</sup> )	161,58
Energia Provida pelo Sistema Solar (kW)	4270,90
Fração Solar (%)	76,50
Redução in Co2 (kg)	1177,50
Eficiência do Aquecedor (%)	74,10

#### Parcelas Energéticas



#### Desempenho Detalhado

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Coletor Solar - Eficiência	48,6	48,4	50,6	50,1	48,5	47,9	49	52,4	52,7	53,2	50,7	50,1
Bomba Solar - Consumo (kWh)	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4
Bomba Solar - on/off (Horas)	45	41	40	35	33	27	32	35	35	42	46	45
Reservatório - Perdas Térmicas (kWh)	23,5	22	20,1	16,5	13,7	9,8	10	10,2	11,3	14,6	19,5	19,5
Redução CO2 (kg)	123	110	105	90	82	64	77	87	89	109	123	119
Consumo GN (m <sup>3</sup> )	9	6,1	10,5	12,7	15,5	18,3	17,9	18,2	16,9	15,5	10,7	10,3



#### Resultados

A ferramenta servirá como guia para o usuário residencial, normalmente leigo no assunto, na escolha do tipo de sistema de aquecimento híbrido (gás+solar) que melhor se adequa às suas necessidades específicas, com base nas simulações as quais levaram em consideração não apenas características dos sistemas, das condições físicas de instalação e das condições climatológicas, mas sobretudo, do perfil de utilização da água quente. Espera-se que, com o uso desta ferramenta, o nível de eficiência dos sistemas de aquecimento aumente, e que o gás natural possa se firmar enquanto fonte complementar ideal para os sistemas de aquecimento de água por energia solar.

## Considerações Finais

O presente trabalho permitiu uma análise minuciosa das opções de arranjos para a integração entre o sistema de aquecimento de água a gás e o sistema de aquecimento de água por energia solar. Como destaque, identificou-se que, dentre as tipologias estudadas, a tipologia tradicionalmente utilizada em sistemas de aquecimento solar+gás mostrou-se, em linhas gerais, bastante ineficiente. Ocorre que, como a reposição de temperatura, neste sistema, é feita diretamente no reservatório térmico do sistema solar, e como o aquecedor a gás possui potência suficiente para elevar a temperatura do volume reservado em curto intervalo de tempo, a depender do perfil de utilização da água quente na residência, o sistema solar pouco tem espaço para atuar, ficando o sistema a gás como fonte principal, ainda que haja energia solar disponível. Esta tipologia, para funcionar adequadamente, demanda ou uma operação manual (ativação e desativação da fonte complementar), ou então sistema de controle baseado em múltiplos parâmetros (temperaturas em mais de um ponto do reservatório térmico + conhecimento prévio do perfil de consumo da residência).

A conscientização sobre a importância da escolha apropriada do tipo de sistema a ser implementado é, portanto, ponto crucial para o atingimento de maior grau de eficiência energética, de atendimento aos anseios do cliente e, como consequência, para a consolidação do gás natural como fonte energética complementar em sistemas híbridos de pequeno porte. Caso esta etapa seja negligenciada, aspectos positivos dos sistemas a gás, como a maior velocidade de aquecimento e recuperação de calor, tornam-se, ao contrário, aspectos negativos ou insuficientes frente à alternativa elétrica convencional.