

Development of a Temperature Measurement System for Natural Tubular Daylight Illumination Device

A. Costa, A. Spacek, J. Neto, M. Santana, and O. Ando

Abstract—The paper has the objective of heat transmission analysis using CompactRIO and Labview in a natural illumination tube system, to compare in future the commercial Solutube illumination system with our prototype developed in question of internal and external tube temperature. The measurement is realized by the development of a program in Labview environment using temperature sensors lm35 and CompactRio FPGA processor. To do this, is followed stages of data analysis, comparison with already developed works, material selection, system construction, tests and finally discussions about the solution. Finally, we present the results of a real-scale comparative experimental study on the impact of the use of tubular solar pickup systems on thermal comfort in building facilities

Index Terms—Natural Illumination, Temperature Analysis, Labview development, CompactRIO FPGA.

I. INTRODUÇÃO

Com a escassez dos recursos naturais e a busca constante pela conservação e eficiência energética, o uso da iluminação natural vem se destacando como uma alternativa aos sistemas de iluminação artificial por ter alta eficiência e aproveitar um recurso dito inesgotável e acessível a todos que é a luz solar [1, 2].

Destaca-se que o Brasil tem um dos melhores índices de radiação solar, sendo que a parte com menor radiação solar é cerca de 40% maior que o lugar mais ensolarado na Alemanha, que atualmente é o país que se destaca em aproveitamento da energia solar. Os índices brasileiros de radiação solar (Fig. 1) corroboram para a disseminação da captação da energia solar para iluminação de ambientes pelo grande potencial solar, o que torna o Brasil um país propício para o uso deste tipo de tecnologia [3, 4].

Esta pesquisa conta com apoio em partes da BAESA – Energética Barra Grande S.A. e a ENERCAN - Campos Novos Energia S.A.

A. G. Costa, Departamento de Tecnologia em Automação Industrial, Faculdade SATC, Santa Catarina, Brasil, andre.costa@satc.edu.br.

A. D. Spacek, Departamento de Tecnologia em Automação Industrial, Faculdade SATC, Santa Catarina, Brasil, anderson.spacek@satc.edu.br.

J. M. Neto, Departamento de Tecnologia em Automação Industrial, Faculdade SATC, Santa Catarina, Brasil, joao.neto@satc.edu.br.

M. V. F. Santana, Energética Barra Grande S.A e Campos Novos Energia S.A, Florianópolis-SC, Brasil, marcus.santana@cscenergia.com.br.

O. H. Ando Junior, Departamento de Engenharia de Energias, UNILA, Foz do Iguaçu-PR, Brasil, osvaldo.junior@unila.edu.br.

Dentre as tecnologias emergentes destaca-se o sistema de iluminação por tubo solar que se trata de uma forma de transmissão de luz natural direta para ambientes fechados. Seu funcionamento baseia-se na reflexão e condução da luz natural por princípio ótico, com entrada da luz por um domo instalado na parte externa que capta a luz e que por sua vez a conduz por um tubo reflexivo até o ambiente interno onde há um difusor que será responsável por difundir no ambiente de forma mais homogênea e confortável a luz capturada [5, 6].

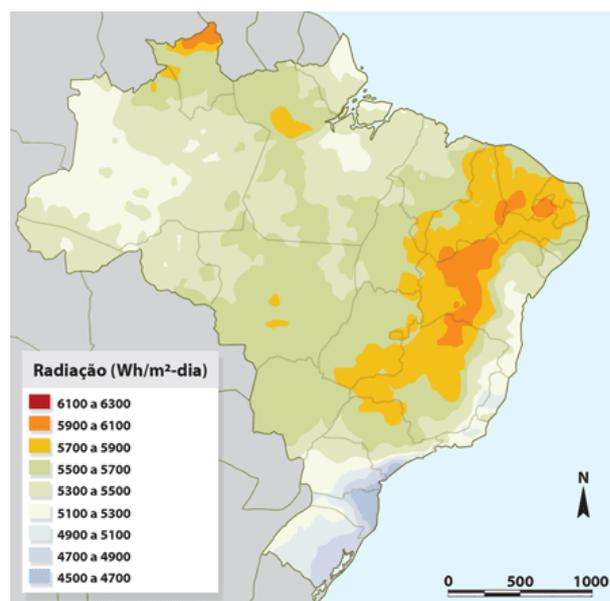


Fig. 1. Radiação Solar no Território Brasileiro [4].

Os principais agravantes para disseminação desta tecnologia são: (i) necessidade de uma fonte complementar de iluminação artificial no período noturno (ausência de luz natural); (ii) oscilação do nível de iluminância ao longo do dia devido a fatores climáticos e (iii) influência na temperatura do ambiente devido a radiação infravermelha e ultravioleta (conforto térmico) [7]. Entretanto, existem estudos que demonstram que a iluminação de ambientes por meio da luz natural traz benefícios à saúde e bem-estar das pessoas, no incremento de vitamina D, aceleração do processo de recuperação e cicatrização, prevenindo doenças, imunidade e saúde óssea [8-10].

Diante do exposto, o presente artigo apresenta um estudo experimental em escala real sobre o impacto do uso de sistemas de captação solar tubular no conforto térmico em instalações prediais. Sendo desenvolvido um sistema de aquisição dos dados utilizando CompactRIO® com supervisor em LabView® para visualização interativa e monitoramento do experimento em tempo real.

II. ESTADO DA ARTE

Nesta seção apresenta-se o referencial teórico utilizado como base para realizar o estudo e analisar a influência da temperatura transmitida pelo dispositivo de iluminação natural tubular no conforto térmico da instalação.

De acordo com a pesquisa realizada na base de dados IEEE Xplore e Science Direct encontrou-se um número restrito de pesquisas que analisam a influência do sistema de iluminação natural no conforto térmico. Dentre as pesquisas realizadas destacam-se o desenvolvimento proposto por Paul Jaster que se utiliza das paredes reflexivas do tubo para seleção do espectro de luz transmitindo a faixa de comprimento de onda visível, enquanto atenua e distribui radiação infravermelha (calor), sendo absorvida pelas paredes do tubo, minimizando o calor no espaço iluminado e possibilitando que o calor possa retornar e sair pela lateral do domo para o ambiente externo [11]. Na Fig. 2, apresenta-se o esboço do projeto onde é demonstrado as suas particularidades.

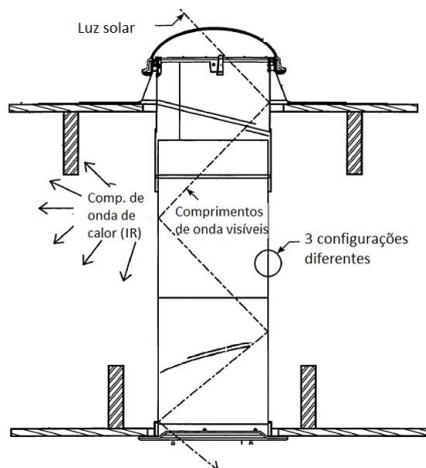


Fig. 2. Transmissão de raios infravermelhos [11].

Enquanto que Tolga Pirasaci propõem uma análise utilizando uma câmara climática para o controle da transferência de calor numa determinada condição para dispositivos tubulares de iluminação. Na Fig. 3 pode ser visto o layout do experimento proposto [12]. Neste caso, o dispositivo de iluminação natural tubular encontra-se alojado dentro de uma unidade de refrigeração, que permite simular condições com temperatura e pressão de forma a recriar as condições extremas que o sistema será exposto em uso devido as variações climáticas. Na parte inferior é alojado em um sistema complexo, que tem um controle de temperatura PID na câmara e utiliza-se de um datalogger para monitorar a

temperatura no ambiente interno. Enquanto em dispositivos comerciais encontra-se a informação que se utiliza de filtros ópticos, como por exemplo, a Solatube que utiliza “Raybender 300” para direcionar luz no domo, com uma transferência muito pequena de temperatura, porém sem análises de comprovação [6].

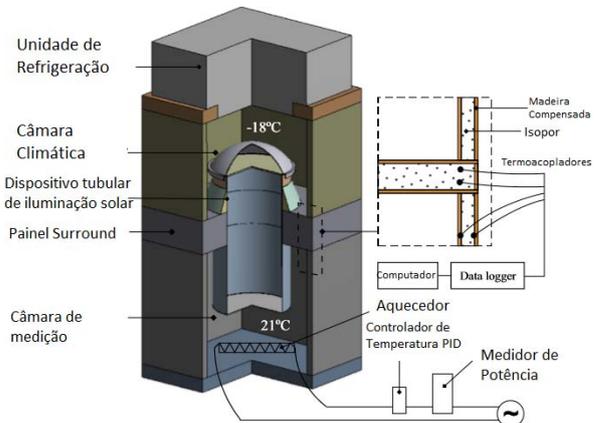


Fig. 3. Análise experimental [12].

Destaca-se que a maioria das pesquisas sobre a avaliação dos sistemas tubulares tratam de simulações, modelagens matemáticas e alterações da geometria. Dentre as abordagens encontradas, pode-se citar o trabalho [13] que propõe o desenvolvimento de um tubo duplo capaz de iluminar áreas subterrâneas e ao mesmo tempo zonas de passagem pelo fato de possuir um tubo transparente envolvendo o tubo interior que apresenta tecnologia análoga aos tubos convencionais [13]. Em [14], os autores propõem a análise analítica da possibilidade de uso em edificações em diversos níveis utilizando tubos solares mantendo a mesma quantidade de luz para cada nível [14]. Na proposta [15], se avalia um sistema de captação solar retangular de modo a permitir uma melhor adequação a arquitetura dos prédios tendo geometria retangular diferentemente das concepções tubulares já consolidadas [15].

Enquanto que [16], propõe o desenvolvimento de um sistema de captação solar de baixo utilizando o PVC como material estrutural do tubo e película refletiva alocada no interior do mesmo objetivando garantir a reflexão. Os testes realizados utilizaram películas automotivas refletivas e películas de PVC monomérico refletivas para avaliação do [16]. Por fim, apresenta-se na Tab. I pesquisas recentes sobre iluminação natural tubular (INT).

III. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção apresenta-se a metodologia adotada para realização da pesquisa (vide Fig. 4) sendo detalhadas as etapas a seguir.

Na Etapa A iniciasse com o estudo do estado da arte com relação à análise da transferência de calor dos dispositivos de iluminação solar e sua influência no conforto térmico,

revelando a escassez de pesquisas quanto à tecnologia, saúde, ambiente e economia relacionados ao tema.

Na Etapa B são definidos os materiais e o local para aplicação do sistema iniciando-se o desenvolvimento do sistema para aquisição e processamento e a instalação do protótipo de medição no local.

TABELA I
PESQUISAS RECENTES

Ref.	Abordagem
[17]	Dimensionamento da transmissão de luz em sistema reflexivo, triangular, retangular romboédrica e hexagonal.
[18]	Visão geral dos dois sistemas de iluminação natural ópticas (tubo de luz sistemas e sistemas de espelhos)
[19]	Caracterização do desempenho fotométrico de sistemas de orientação luz tubulares em termos de luz
[20]	Modelagem e análise experimental de tubos solares verticais
[21]	Avaliação da aplicação de tubos de luz em iluminação de túneis
[22]	Análise térmica de tubos solares utilizados em telhados
[23]	Apresentação de um modelo para avaliação de eficiência dos sistemas tubulares
[12]	Estudo experimental e numérica sobre a convecção natural laminar em TDD para condições de Inverno.
[24]	Estudo de caso da instalação de um TDGS em Cluj-Napoca (Romênia)
[25]	Proposição de um novo modelo de análise mais preciso para validar os TDGS em edifícios

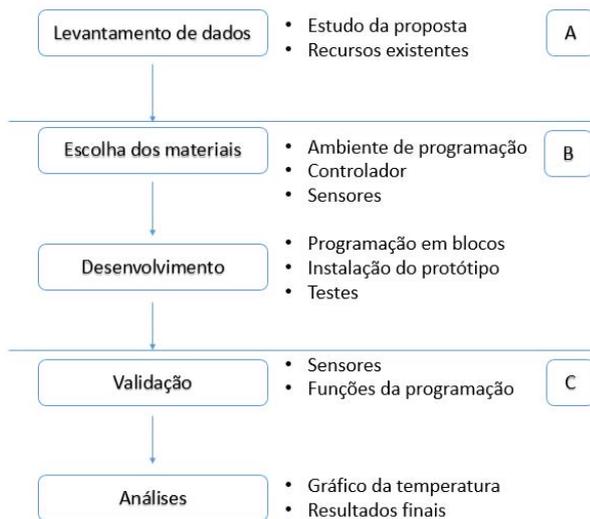


Fig. 4. Fluxograma Demonstrativo da Metodologia utilizada.

Na Etapa C realiza-se a validação, tanto dos sensores de temperatura bem como das funcionalidades, tempo de resposta e seleção de parâmetros pelo usuário na interface do programa.

Após a realização das validações do projeto, são realizadas a coleta de dados e análises de resultado com base nas informações de ensaio no sistema de referência.

IV. ESTUDO DE CASO

Para realização deste estudo experimental foi confeccionada duas salas de teste idênticas com as seguintes dimensões de 5x3 metros para realização de ensaios comparativos em tempo real entre o modelo de referência da marca Solatube® e um

sistema alternativa proposto por [26]. O ambiente de ensaio está situado no CTCL (Centro Tecnológico do Carvão Limpo) da Faculdade SATC localizado na cidade de Criciúma/SC na latitude 28° 40' 39" sul com longitude 49° 22' 11" leste em uma altitude de 46m em relação ao nível do mar. Destaca-se que a radiação global média durante o ano e de cerca de 14,4MJ/m².dia em Santa Catarina [27].

Onde, os tubos têm as dimensões de 2 metros de altura e 250 milímetros de diâmetro sendo instalados em duas salas sendo que em uma foi utilizado o sistema da Solatube® (referência) e na outra sala o sistema desenvolvido pelos autores para análise comparativa dos resultados como pode-se visualizar na Fig. 5 [1].

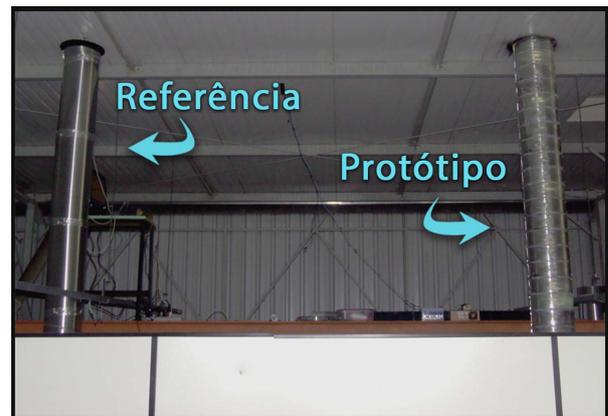


Fig. 5. Demonstrativo do sistema instalado para teste.

As leituras de temperatura foram realizadas no ambiente externo próximo ao domo e no ambiente interno (sala) próximo ao difusor (Fig. 6) [1].



Fig. 6. Demonstrativo do sistema instalado (difusor e domo).

O período de análise do estudo foi entre 14 de novembro de 2017 até 21 de novembro de 2017. Durante este período, os dados climáticos foram obtidos da estação meteorológica cujo os dados são disponibilizados no site de previsão do tempo da SATC [28]. Na Fig. 7 apresenta-se a informação de temperatura em vermelho, ponto de orvalho em verde, radiação solar em amarelo, e índice de raios ultravioleta em roxo, durante a semana estudada.

Para realização do setup experimental foram utilizados: Controlador Embarcado CompactRIO 9066, módulo analógico NI 9238, 4 sensores de temperatura lm35, placa com circuito de alimentação elétrica dos sensores, dispositivo de iluminação solar Solatube (Domo, tubo e difusor) e o ambiente de programação LabView em FPGA. Na Fig. 8,

apresenta-se a estruturação do software. Onde pode-se visualizar as etapas de programação, sendo que a leitura de temperatura e o cálculo da média são apresentados no decorrer da seção.

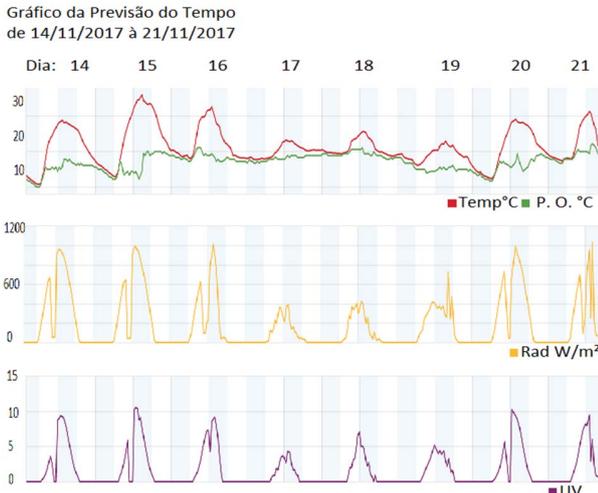


Fig. 7. Previsão do tempo 14 a 21 de novembro de 2017.

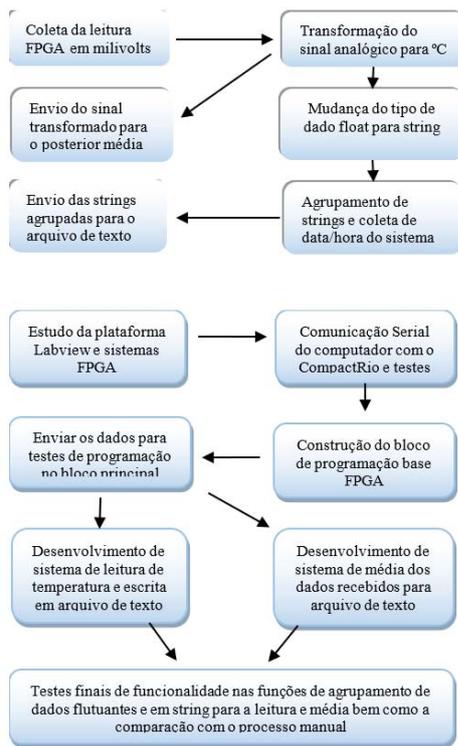


Fig. 8. Fluxograma do desenvolvimento do sistema proposto.

Para a leitura de dados de temperatura, foi utilizado o sensor lm35, por ser um sensor de simples linearização e eficiente, onde cada 10 milivolts de sua saída equivalem a 1°C. Foi analisado também o sensor ds18b20 e dht22, porém, foi selecionado o lm35 pela melhor relação de facilidade e eficiência. Foi desenvolvida uma placa PCB para compor seu circuito de alimentação e saída analógica para o processador.

O controlador embarcado envolvido foi o CompactRIO juntamente com o módulo analógico NI 9238. Devido à compatibilidade do módulo analógico, foi utilizado o sistema de processamento FPGA. Na Fig. 9 apresenta-se o diagrama de blocos.

Neste diagrama da função FPGA do CompactRIO, a função principal é exclusivamente ativar as entradas analógicas do módulo NI 9238 e enviar as leituras para posterior transformação. Porém, foi adicionado um multiplicador em cada entrada dirigido para um gauge (medidor com ponteiro) para verificar a funcionalidade inicial do processo, cujo painel frontal pode ser visualizado na Fig. 10.

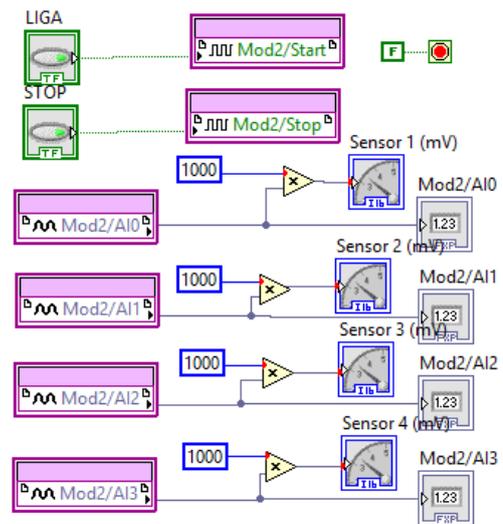


Fig. 9. Diagrama de blocos da leitura FPGA.

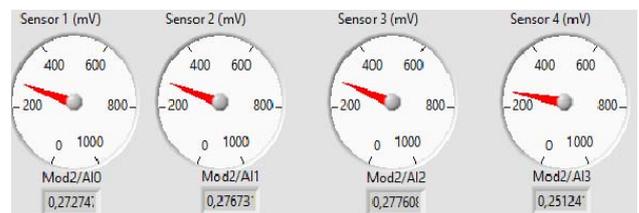


Fig. 10. Demonstrativo do painel frontal FPGA.

Para organização e armazenamento dos dados coletados, foi necessário passar as leituras para um arquivo em blocos de notas no computador. Como a programação para captar os dados em FPGA foi feita dentro do controlador, foi necessário realizar uma comunicação do dado obtido em um novo diagrama de blocos situado no computador, onde o valor da leitura inicialmente em *fixed point* foi modelada para °C de acordo com a linearização do lm35, e posteriormente transformada e agrupada em *strings*, que foram direcionadas para um arquivo de texto situado no computador.

No ambiente do Labview localizado no computador, foi possível incorporar mais funções na programação em comparação ao ambiente FPGA dentro do controlador. Assim, foi criada uma rotina de leitura para captura conforme o tempo desejado para os dados já calibrados, todos devidamente separados em 4 leituras diferentes, sendo ambos

transformados em *strings* e agrupados junto com a informação da data e hora em que foram captados.

Na Tab. II, pode-se verificar a forma de junção dos dados coletados de cada sensor organizados em um arquivo do bloco de notas.

TABELA II
AGRUPAMENTO DE STRINGS

Sensor 1 (°C)	Sensor 2 (°C)	Hora e Data
39,106954	38,722191	14:43:04 de 21/11/2017
43,763557	42,654476	13:43:04 de 21/11/2017
41,476238	40,632966	12:43:03 de 21/11/2017
40,448205	39,545369	11:43:03 de 21/11/2017
37,986185	36,977442	10:43:03 de 21/11/2017
33,794859	33,100601	09:43:02 de 21/11/2017
28,036949	23,809382	08:43:02 de 21/11/2017
23,575179	23,809382	07:43:02 de 21/11/2017
22,648101	22,967630	0:43:01 de 21/11/2017

Para desenvolver o processo de captação automática de temperatura seguiu-se os seguintes passos na Fig. 11. Inicialmente, na função FPGA do CompactRIO, é realizada a leitura analógica de tensão de cada um dos quatro sensores, e enviado para o programa principal para modelagem dos dados. A partir disso é feita a transformação do sinal para Celsius através de um multiplicador e uma soma que podem ser alterados pela interface do usuário no painel principal.

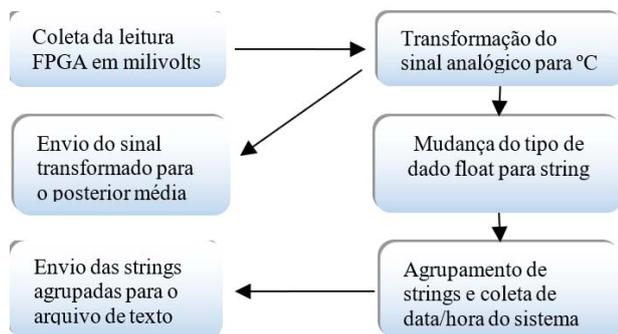


Fig. 11. Demonstrativo do fluxograma da rotina de programação da leitura de temperatura.

Tendo o valor fluante adequado, este é enviado para duas partes, sendo uma para aplicação da média, (Ver adiante) e outro transformado para tipo string. Com os valores em strings, estes já podem ser aplicados em agrupadores de strings, onde a cada linha aparece uma medição, e os valores são separados por “Tab”. No final da linha é acrescentado uma string da data e hora do momento da coleta.

Seguindo todo este procedimento, uma espécie de “curto-circuito de dados” é feita para que a cada loop do programa uma nova leitura de sensores seja feita pelo mesmo processo, sendo estes enviados finalmente ao bloco de notas.

Além disso, para uma melhor visualização, houve a necessidade de uma média para as temperaturas, sendo calculadas a cada hora. Para isso, foi acrescentado no diagrama de blocos um sistema que acumulava todos os valores de temperatura obtidos durante o período calculado e divisão desses valores pelo número de ciclos calculados, fazendo-se obter assim a média de cada sensor conforme o tempo desejado de ciclo e o tempo de cálculo de média sobre

o ciclo. Após o valor da média calculada, é executado o mesmo procedimento para transformar e agrupar em string, assim gerando dois arquivos no bloco de notas, um para leitura, e outro para média. Na Fig. 12 apresenta-se um fluxograma do funcionamento do cálculo de média.

Este processo se assemelha ao primeiro, sendo a segunda parte da continuação da transformação de informação em float recebida inicialmente no processo anterior. Com o diferencial de que estes valores antes de todo o processo de strings, os valores são somados em cada sensor a cada loop, sendo que no final do número de vezes escolhidas pelo usuário na interface do programa, o valor é dividido por este mesmo número, gerando assim uma média do tempo decorrido.

O mesmo é reiniciado em cada novo cálculo de média, e o processo é feito para todos os sensores. Somente após todos estes passos, é continuada o processo de acumulo de strings citado anteriormente.

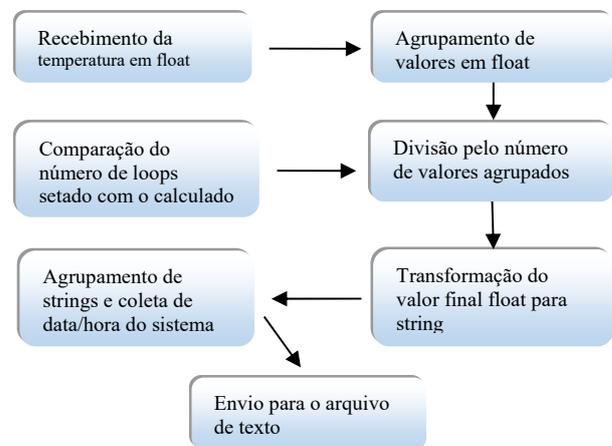


Fig. 12. Demonstrativo do fluxograma da rotina de programação do cálculo de média.

O programa visualizado pelo usuário, ou seja, a interface principal, foi constituída, conforme apresenta-se na Fig. 13. Os ponteiros indicam o valor de temperatura transformado em °C e em cada coluna é visualizado um sensor. Nos campos abaixo, apresenta-se em linha para o usuário respectivamente: Temperatura em Celsius, Valor de tensão analógica, o ajuste do multiplicador, e o ajuste da soma. Estes 2 últimos são alteráveis conforme a transformação requerida para o sensor, transformando por meio de uma função afim o valor analógico na temperatura.

Por fim, na última linha apresenta-se o ajuste do loop do programa, no qual regula o tempo que é feito cada leitura. O último, ajusta-se quantas vezes o loop será calculado a fim de gerar a média.

V. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para fins de calibração do sistema de monitoramento utilizou-se de sensores LM35 e termopares tipo J com o controlador N1100 como referência. Posteriormente, no programa desenvolvido, foi adicionado uma função de resposta baseado na média dos 4 sensores LM35, para ajustar a leitura de temperatura em $^{\circ}\text{C} \pm 2\%$.

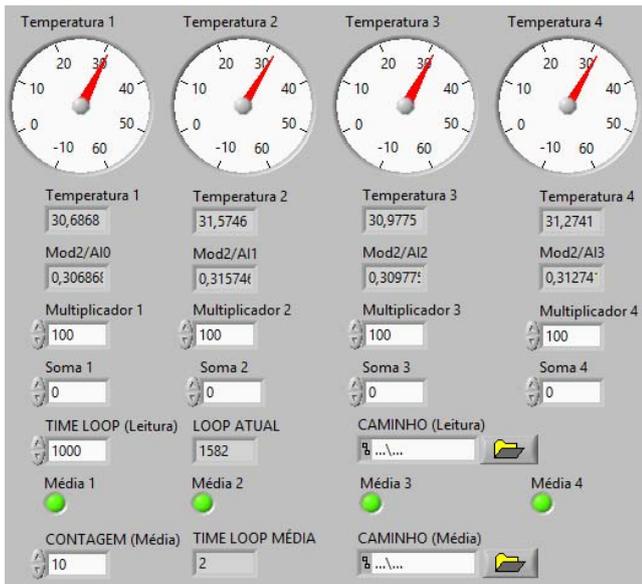


Fig. 13. Interface principal.

Referente a função de monitoramento dos canais em função do tempo percebe-se que houve uma defasagem no tempo por causa da rotina o que resulta em uma pequena variação na leitura da temperatura em regime transitório, como pode ser visto na Tab. III.

TABELA III
RELAÇÃO DE CÁLCULO DE MÉDIA (IND. E CONJ.)

Individual (°C)	Conjunta (°C)	Hora e Data
29,091227	29,391396	14:40:51 de 06/10/2017
29,132998	29,723549	14:40:50 de 06/10/2017
29,556525	29,133356	14:40:49 de 06/10/2017
29,848135	29,332912	14:40:48 de 06/10/2017
28,838158	29,245114	14:40:47 de 06/10/2017
30,206442	30,281842	14:40:46 de 06/10/2017
29,490650	28,31378	14:40:45 de 06/10/2017
29,310417	29,261649	14:40:44 de 06/10/2017
29,595637	29,603529	14:40:43 de 06/10/2017
29,175520	29,811406	14:40:42 de 06/10/2017
29,4242741	29,4098533	Média

Ao analisar os dados contidos na Tab. III verifica-se que há uma variação pouco significativa entre a medida individual e a conjunta, onde é feita a leitura completa do programa, com a média calculada também manualmente em baixo. A média calculada pelo programa desenvolvido está de acordo com os valores calculados analiticamente (29,409853°C) comprovando o valor médio calculado pela rotina do programa. Para fins de validação, utilizou-se a média calculada a cada 10 segundos sendo que as leituras instantâneas foram de 1 segundo, ou seja, foram feitas 10 leituras e tirado a média final, seguindo este processo para todos os 4 sensores. No caso da validação, o ciclo de leitura continuou 1 segundo, mas a média foi feita em horas, ou seja, a cada 3600 segundos.

Na Fig. 14 apresenta-se uma imagem do sistema de medição instalado. Onde, visualiza-se o Solatube® sob ensaio com os sensores de temperatura distribuídos ao longo do tubo fazendo aquisição de dados usando o CompactRIO®. De

acordo com os dados obtidos em uma análise de temperatura em 3 pontos do tubo Solatube® e na temperatura ambiente do teto onde estava o tubo, gerou-se uma média por hora de todos os dias em que foram coletados dados de temperatura, ou seja, de 14 de novembro de 2017 à 21 de novembro de 2017.

Na Fig. 15, apresenta-se de forma gráfica o resultado do monitoramento da temperatura no Solatube®, onde pode se visualizar os picos de temperatura com o passar das horas e a comparação da temperatura do tubo com a temperatura ambiente. O sensor alto, médio, e baixo estavam localizados, respectivamente, à 1,75m, 1,5m e 0,5m ao longo doer do tubo Solatube®. Ao analisar os dados contidos na Fig. 15 percebe-se que os picos de temperatura (sensor médio e alto), ocorrem nos momentos de maior radiação solar e próximos ao ponto de captação da luz (domo), chegando próximo dos 40°C perto do meio dia. Porém.



Fig. 14. Demonstrativo do protótipo do sistema de medição instalado.

Ao comparar os dados do sensor baixo com o senso ambiente percebe-se que a temperatura próxima ao ponto de entrada do Solatube® no ambiente interno (difusor) e menor que a temperatura ambiente (sensor ambiente). Logo, pode-se afirmar que o sistema em questão não tem influência no conforto térmico do ambiente.

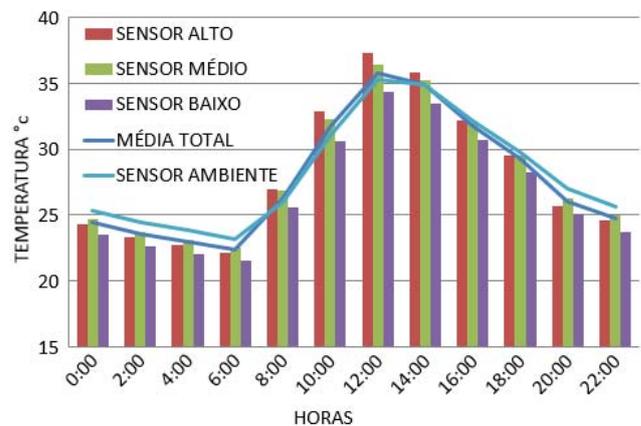


Fig. 15. Temperatura média obtida nos sensores.

Ao analisar os dados de monitoramento de forma comparativa entre os sensores (baixo, médio e alto) percebe-se que houve uma variação de no máximo 2-3°C entre os

sensores ao longo do tubo em relação ao sensor ambiente. Portanto, pode-se afirmar que com a variação de até 3°C da temperatura interna com relação à exterior, a funcionalidade de dissipação da energia térmica do conjunto domo, tubo e difusor apresenta desempenho satisfatório [5].

Com intuito de validar o sistema de monitoramento proposto realizou-se um ensaio comparativo utilizando-se de imagens termográficas com o termômetro de infravermelho VT04A da FLUKE. Na Fig. 16 apresenta as imagens termográficas do sistema por volta de 15h onde a temperatura externa era 25,6°C conforme estação meteorológica da Faculdade SATC localizada na cidade de Criciúma no estado de Santa Catarina na latitude 28° 40' 39" sul com longitude 49° 22' 11" leste em uma altitude de 46m em relação ao nível do mar e a temperatura entre o telhado o forro medida com um termômetro era de 31°C.



Fig. 16. Demonstrativo da temperatura média obtida por termografia.

Nesta avaliação simplificada, analisando-se os dados verifica-se coerência entre os valores medidos e assim convalidando o experimento entre as medidas do sistema de monitoramento e termografia.

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com a análise dos dados o sistema da Solatube analisado, apresentou baixa transmissão de calor, sendo esse em boa parte dissipado na parte superior do tubo, com variações de no máximo 3°C durante todas as horas da média do período estudado, cujo foi 14 de novembro de 2017 à 21 de novembro de 2017.

Destaca-se que o monitoramento do sistema de iluminação tubular e sua influência no conforto térmico, ocorreu em período curto de tempo devido a questões de disponibilidade. Sendo que o ideal seria realizar a validação do sistema em um período de um ano para analisar seu desempenho frente as mudanças climáticas ao longo das estações do ano.

Ressalta-se que todos os ensaios foram realizados em condição reais e severas, ou seja, com um comprimento de tubo de 2m que é uma condição arquitetônica bastante incomum, ou seja, em condições normais de instalações em edificações os desempenhos serão superiores aos apresentados neste artigo.

Por fim, conclui-se que o sistema apresentou um desempenho adequado quanto a funcionalidade e aplicabilidade contribuindo para o desenvolvimento tecnológico e aperfeiçoamento de dispositivos de iluminação natural tubular.

AGRADECIMENTOS

Este projeto foi desenvolvido no âmbito do programa "Pesquisa e Desenvolvimento" regulado pela ANEEL (3936-3314/2015). Os autores agradecem a BAESA – Energética Barra Grande S.A. e a ENERCAN - Campos Novos Energia S.A. pelo apoio e fomento.

REFERÊNCIAS

- [1] Spacek, A. D., Desenvolvimento de tubos solares aplicados em iluminação de interiores a partir de materiais poliméricos metalizados. 2017. 156 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciencia e Tecnologia dos Materiais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgicas e Materiais - UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.
- [2] Goldemberg, J.; Lucon, O. Energia, meio ambiente e desenvolvimento. 3ª edição. São José dos Campos: Editora da universidade de São Paulo, 2012.
- [3] ANEEL-Agência Nacional de Energia Elétrica, Parte III Fontes não renováveis: derivados de petróleo. 2008.
- [4] Solargis. Geomodel solar. [S.l.], 2013. Disponível em: <http://solargis.info/>. Acesso em: 6 set. 2018.
- [5] Junior, O. H. A. et al. Proposal of a Hybrid System for Solar and Photovoltaic for Lighting Low Cost. Renewable Energies and Power Quality (RE&PQJ), v. 1, n. 12, p. 248, 2014.
- [6] SOLATUBE, Iluminação natural – Disponível em: <http://www.solatube.com/>. Acesso em: Dez. 2017.
- [7] Castilla, M., et. al., Técnicas de Control del Confort en Edificios. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial Riai, Espanha, p.5-24, jul. 2010.
- [8] Serrano, M.A., et al. Solar ultraviolet doses and vitamin D in a northern mid-latitude. Science Of The Total Environment, Valencia, Spain, v. 574, p.744-750, 1 jan. 2017.
- [9] Holick, M. F., Sunlight and vitamin D for bone health and prevention of autoimmune diseases, cancers, and cardiovascular disease. The American journal of clinical nutrition 80.6 (2004): 1678S-1688S.
- [10] Serrano, Maria Antonia et al. Contribution of sun exposure to the vitamin D dose received by various groups of the Spanish population. Science Of The Total Environment, Valencia, Spain, v. 619-620, p.545-551, 1 abr. 2018.
- [11] Jaster, P., Skylight tube with infrared heat transfer. US nº US 7954281 B2, 8 nov. 2006, 8 nov. 2006. 2011. Disponível em: <https://www.google.com/patents/US7954281/>. Acesso em: 19 dez. 2017.
- [12] Pirasaci, Tolga. Investigation of laminar natural convection heat transfer within tubular daylighting devices for winter conditions. Journal Of Building Engineering. Ankara, Tr, p. 52-59. dez. 2015. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710215300176>. Acesso em: 19 dez. 2017.
- [13] Baroncini, C. et al. Experimental analysis on a 1:2 scale model of the double light pipe, an innovative technological device for daylight transmission. Elsevier - Solar Energy, v. 84, n. 2, p. 296–307, 2010.
- [14] Garcia-Hansen, V.; Edmonds, I. Methods for the illumination of multilevel buildings with vertical light pipes. Elsevier - Solar Energy, v. 117, p. 74–88, 2015.
- [15] Canziani, R.; Peron, F.; Rossi, G. Daylight and energy performances of a new type of light pipe. Elsevier - Energy and Buildings, v. 36, n. 11, p. 1163–1176, 2004.
- [16] Junior, O. H. A. et al. Proposta de um sistema alternativo para captação da luz solar de baixo custo para inserção no mercado Brasileiro. Elsevier - Ciência & Tecnologia dos Materiais, v. 26, n. 1, p. 17–24, 2014.
- [17] Edmonds, I. Transmission of mirror light pipes with triangular, rectangular, rhombic and hexagonal cross section. Elsevier - Solar Energy, 2010. v. 84, n. 6, p. 928–938.
- [18] Kim, J. T.; Kim, G. Overview and new developments in optical daylighting systems for building a healthy indoor environment. Building and Environment, 2010. v. 45, n. 2, p. 256–269.
- [19] Verso, V. R. M. Lo; Pellegrino, A.; Serra, V. Light transmission efficiency of daylight guidance systems: An assessment approach based on simulations and measurements in a sun/sky simulator. Solar Energy, 2011. v. 85, n. 11, p. 2789–2801.

- [20] Malet-Damour, B. *et al.* Light Pipes Performance Prediction: Inter Model and Experimental Confrontation on Vertical Circular Light-guides. Elsevier - Energy Procedia, 2014. v. 57, n. 0, p. 1977–1986.
- [21] Gil-Martín, L. M. *et al.* Study of light-pipes for the use of sunlight in road tunnels: From a scale model to real tunnels. Elsevier - Tunnelling and Underground Space Technology, 2014. v. 41, p. 82–87.
- [22] Šíkula, O.; Mohelníková, J.; Plášek, J. Thermal analysis of light pipes for insulated flat roofs. Elsevier - Energy and Buildings, 2014. v. 85, p. 436–444.
- [23] Shuxiao, W.; Jianping, Z.; Lixiong, W. Research on energy saving analysis of tubular daylight devices. Energy Procedia, 2015. v. 78, p. 1781–1786.
- [24] Ciugudeanu, C.; Beu, D. Passive Tubular Daylight Guidance System Survey. Procedia Technology, 2016. v. 22, p. 690–696.
- [25] Malet-Damour, B. *et al.* Study of tubular daylight guide systems in buildings: Experimentation, modelling and validation. Energy and Buildings, 2016. v. 129, p. 308–321.
- [26] Spacek, A.D.; Neto, J.M.; Biléssimo, L.D.; Ando Junior, O.H.; Santana, M.V.F.; Malfatti, C.D.F. Proposal of the Tubular Daylight System Using Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) Metalized with Aluminum for Reflective Tube Structure. *Energies* 2018, *11*, 199.
- [27] Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Disponível em: [Andgt;http://www.inmet.gov.br/portal/Andgt](http://www.inmet.gov.br/portal/Andgt)
- [28] SATC, Estação Meteorológica. Previsão do tempo SATC. Disponível em: <http://www.site.satc.edu.br/meteorologia/tempo/tempo.php>. Acesso em: 19 dez. 2017.



André Goulart Costa acadêmico da sétima fase de graduação em Engenharia Mecatrônica pela Faculdade SATC. Formado no curso técnico em eletromecânica pelo Instituto Maximiliano Gaidzinski (IMG) e ensino médio pelo Colégio Maximiliano Gaidzinski (CMG). Atualmente é pesquisador no Departamento de Engenharia Mecatrônica

da SATC.



Anderson Diogo Spacek possui graduação em Tecnologia em Automação Industrial pela Universidade do Extremo Sul Catarinense. Mestre em Engenharia, titulado pelo (PPGE3M/UFRGS) Programa de Pós-Graduação em Eng Minas, Metalúrgica e Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul e atualmente Doutorando do mesmo

programa. Atua como professor da Faculdade SATC desde 2002 nas áreas de eletroeletrônica e automação.



João Mota Neto possui graduação em Tecnologia em Automação Industrial pela Universidade do Extremo Sul Catarinense e mestrado e doutorado em engenharia mecânica pela UFRGS. Atualmente professor tempo integral dos cursos de graduação de engenharia elétrica e tecnologia em automação industrial na Faculdade SATC Desenvolvendo

atividades de pesquisa nas áreas de eficiência energética, instrumentação, eletrônica e automação.



Marcus Vinícius Ferreira de Santana possui graduação em Ciências Econômicas pela Universidade Federal de Santa Catarina (2006) e MBA em Gerenciamento de projetos pelo Centro Internacional de Estudos do Cone Sul. Atualmente é analista de Pesquisa e Desenvolvimento da CSC Energia.

Trabalha na Gestão do Programa da Pesquisa & Desenvolvimento das empresas BAESA - Energética Barra Grande S.A, ENERCAN - Campos Novos Energia S.A, CESAP - Consórcio Empresarial Salto Pilão S.A e SEFAC - Serra do Facão Energia S.A.



Oswaldo Hideo Ando Junior graduado em Engenharia Elétrica e Especialização em Gestão Empresarial pela Universidade Luterana do Brasil com Mestrado e Doutorado em Engenharia na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Atualmente é Professor da Universidade Federal da Integração Latino Americana (UNILA), consultor ad

hoc da FAPESC e Revisor IEEE Latin América. Atuando principalmente nas áreas: Conversão de Energia, Qualidade da Energia Elétrica e Sistemas Elétricos de Potência.