



ASSUNTO/MOTIVO

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA DISPERSÃO TÉRMICA NO ENTORNO DA UAS

PÁGINA

1/12

LOCAL/DATE

Rio, 30-abril-2019

REDATOR

Leon Lima

U.O./TEL.

DSR.T/7813

REFERÊNCIA

UAS

CÓDIGO ARQUIVO

Nº DE PÁGINAS 12 ANEXOS 0

RESUMO

Este relatório apresenta o resultado do estudo da dispersão térmica no entorno da UAS. O estudo foi realizado por meio de uma modelagem computacional, bidimensional, em elementos finitos, com o objetivo de avaliar o impacto da operação da UAS e da dissipação do calor de decaimento dos Elementos Combustíveis armazenados no entorno.

As simulações levaram em conta as condições meteorológicas locais e avalia a influência em 3 pontos de interesse.

A conclusão deste estudo, que empregou uma metodologia com premissas conservadoras e considera carga térmica máxima, é que a influência da operação da UAS na temperatura será desprezível para o microclima local, conforme os resultados obtidos da simulação numérica, sumarizados na tabela abaixo.

	Centro de Informações	Heliponto	BR-101 e adjacências
temperatura inicial	29,8 °C	29,8 °C	29,8 °C
temperatura final (de equilíbrio)	30,8 °C	30,5 °C	-
diferença de temperatura	1,0 °C	0,7 °C	0 °C

ASSINATURAS

LEON LIMA

AUTOR

HITOSHI / FERRARI

VERIFICADO/APROVADO

REV.

DATA

PÁG.

VERIFICADO/
APROVADO

01

16/5/19

geral

02

16/5/19

2,3,7,8
e 11
geral

03

20/05/19

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste estudo é avaliar o efeito da UAS na Área de Influência Direta sob o ponto de vista dos fenômenos térmicos, levando em conta as principais condições climáticas da região que contém a UAS.

A finalidade do empreendimento objeto deste Relatório é armazenar de forma segura Elementos Combustíveis Irrradiados (ECIs) que dissipam uma taxa de calor residual, que decai ao longo do tempo. Os *overpacks* que abrigarão esses elementos são providos de sistemas que permitem a passagem do ar ambiente por canais internos por onde absorvem o calor liberado pelos elementos, promovendo o resfriamento dos ECIs, por meio de convecção natural do ar. Os ECIs, tanto de Angra 1 como de Angra 2, serão transferidos das piscinas de combustíveis usados para a UAS após pelo menos 10 anos de decaimento¹. Isso corresponde aproximadamente às seguintes cargas térmicas máximas por elemento combustível:

- Angra 1: 0,99 kW
- Angra 2: 1,25 kW

Como os ECIs de Angra 1 e Angra 2 têm dimensões e características distintas, os *overpacks* de Angra 1 e de Angra 2 serão diferentes. O de Angra 1 comporta 37 ECIs e o de Angra 2 comporta 32 ECIs. No sentido de buscar o cenário mais conservador, esse estudo considera o pátio da UAS completamente carregado de *overpacks* tipo Angra 2 (HI-STORM 32), com uma potência máxima de 40 kW (32 x 1,25 kW). Na capacidade máxima, a UAS comportará 72 desses *overpacks*, o que resulta numa carga térmica máxima total de 2.880 kW. O presente estudo tem como objetivo calcular como essa carga térmica é transportada dentro das condições no entorno da UAS, de maneira a obter uma avaliação quantitativa de uma eventual influência

- (i) no Centro de Informações de Itaorna (Observatório Nuclear)
- (ii) no Heliponto
- (iii) ao longo do trecho da BR-101 adjacente à CNAAA

R2

¹ Premissa conservadora para primeira fase de carregamento da UAS. Os *overpacks* são projetados para ECIs a partir de 3 anos de decaimento.

R2

Cabe ressaltar de antemão que a UAS não irá aportar qualquer carga térmica nova ao ambiente, uma vez que sua finalidade é armazenar Elementos Combustíveis já presentes na CNAAA, armazenados nas piscinas de elementos combustíveis das usinas.

É importante destacar também que, considerando a carga térmica máxima de 2.880 kW na UAS, essa potência é inferior a outros sistemas já presentes na CNAAA, tais como o sistema de água gelada de Angra 1, que tem potência pouco acima de 3.800 kW, a qual é também dissipada para o ar ambiente.

O presente estudo numérico tem por objetivo quantificar qual seria a influência da UAS, considerando as condições mais favoráveis de transporte da massa de ar quente até os pontos (i) a (iii) elencados acima. Conforme será detalhado na seção seguinte, este estudo emprega premissas conservadores, buscando considerar o cenário mais favorável ao transporte da massa de ar quente às adjacências da UAS.

A seguir todas as hipóteses empregadas neste trabalho são descritas, seguidas dos resultados da simulação numérica e das conclusões finais.

2. METODOLOGIA DO MODELO NUMÉRICO

Para determinação dos campos de temperatura no entorno da UAS foi empregado um modelo bidimensional (2D) transiente em elementos finitos, que resolve as equações de movimento do fluido (ar ambiente) e de transporte de temperatura, desenvolvido pela UERJ. O modelo computacional emprega método de elementos finitos com funções de forma lineares para os campos escalares (pressão e temperatura) e funções de forma cúbicas para o campo vetorial (velocidade). A discretização dos termos convectivos é feita por meio do método semi-lagrangiano. Detalhes do modelo computacional podem ser consultados em /1/.

O domínio da simulação consiste num plano vertical posicionado na região indicada na Fig. 1, passando pela UAS, Centro de Informação (CI),

Heliponto, BR-101 e chegando à encosta de Mata Atlântica. A Fig. 2 mostra esquematicamente a malha com os pontos de interesse.



Fig. 1. Localização da malha computacional e dos pontos de interesse.

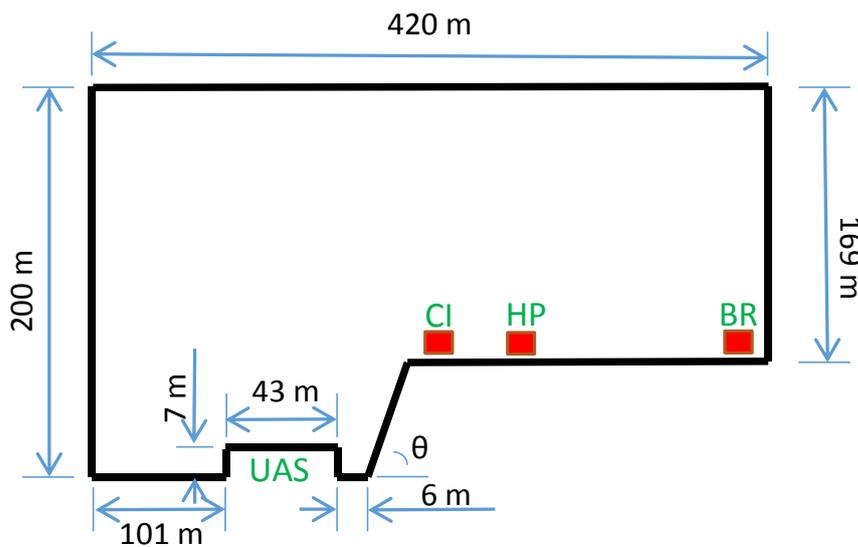


Fig. 2. dimensões do domínio da simulação; CI: Centro de Informações, HP: Heliponto, BR: BR101, MA: Mata Atlântica.

Cód O&M 042/04

As informações de vento para as simulações foram baseadas nas curvas da Fig. 3, da qual foi extraído o valor empregado na simulação.

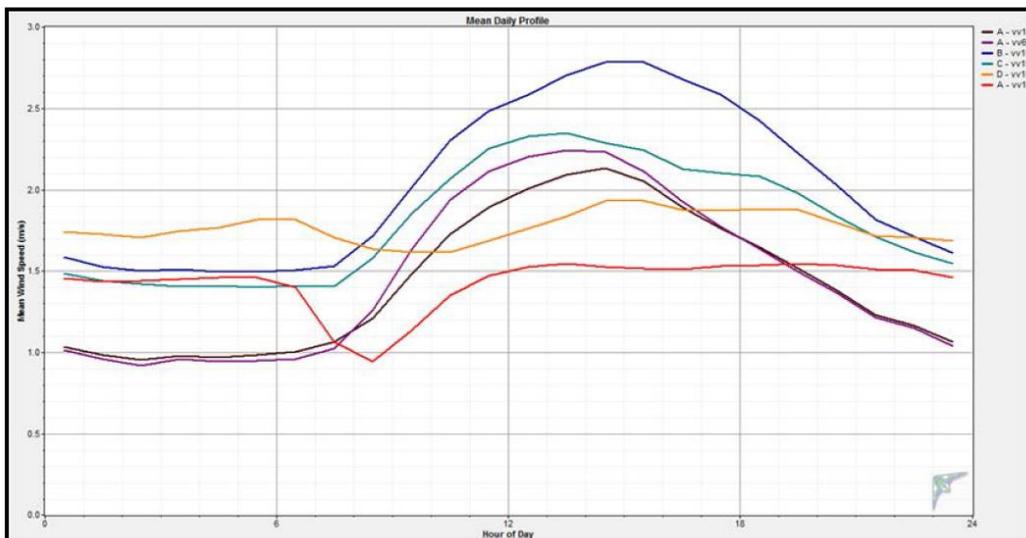


Fig. 3. Distribuição da velocidade média do vento das torres A, B, C e D em função da hora do dia. CNAEA. Período 2002 a 2006

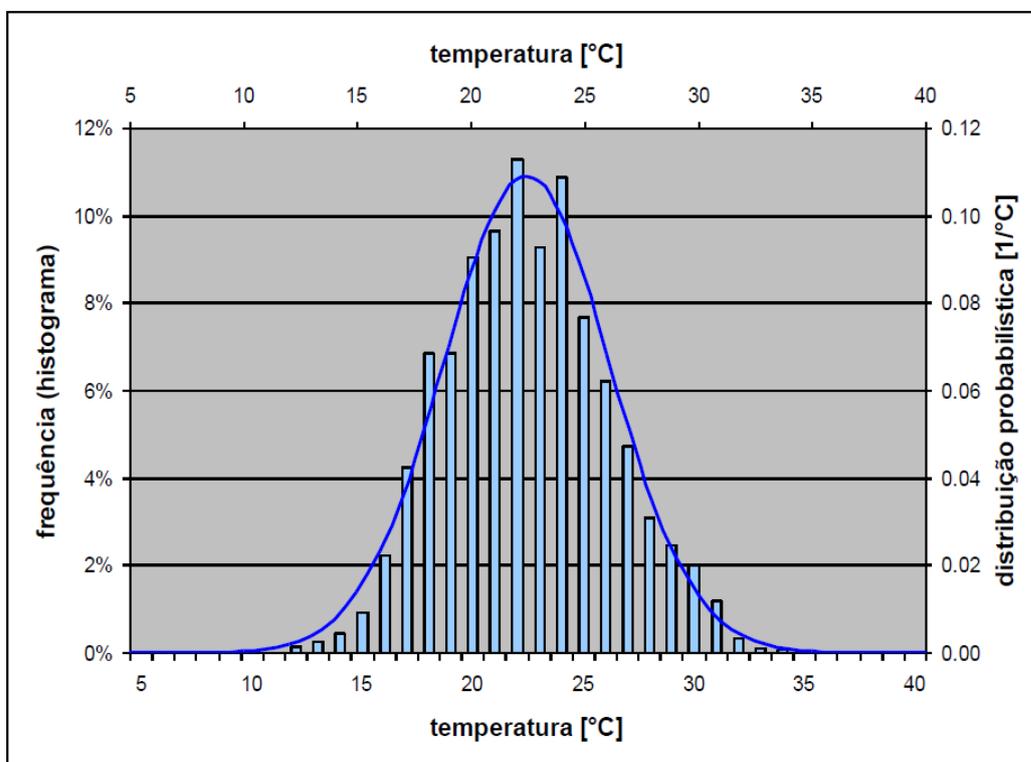


Fig. 4. frequência de ocorrência das temperaturas segundo medidor de temperatura instalado na região da UAS /2/.

Além desses parâmetros, foram também adotadas as seguintes condições:

- O domínio da simulação consistiu de um plano vertical contendo a área da UAS, o corte do talude, o Centro de Informacoes (CI) da CNAAA, o Heliponto e o trecho da BR-101 adjacente à CNAAA até o ponto onde começa a encosta de Mata Atlântica, junto à BR-101. O modelo utiliza uma altura de 200 m e comprimento de 420 m (ver Fig. 2).
- Foi considerado vento soprando na direção da UAS para o CI, ou seja, fluxo da esquerda para a direita no domínio da simulação, constante e igual a 2,8 m/s, determinado a partir da curva da Fig. 3. Esse vento corresponde ao vento médio diário que ocorre às 15h.
- A temperatura tomada como referência no modelo foi de 29,8 °C, baseada no relatório /2/. Essa temperatura corresponde ao valor superado em apenas 1 % das ocorrências numa distribuição normal de temperaturas para a região, tomando como base uma massa de dados de temperatura medidos na região da UAS. Essa temperatura é usada como condição inicial para a simulação, de maneira que os acréscimos de temperatura gerados pela operação da UAS são calculados a partir do patamar de 29,8 °C. Essa temperatura é também a temperatura do vento considerado no modelo.
- UAS com 72 *overpacks* de 40 kW (ou seja, carga térmica total de 2880 kW).

As condições inicial e de contorno utilizadas na simulação são:

- Condição inicial: temperatura de 29,8 °C
- Vento na entrada (da esquerda para a direita): constante e igual a 2,8 m/s
- Condição Neumann não homogênea (fluxo prescrito) no topo da região da UAS de 72 kW/m (2880 / 40)
- *Outflow* (pressão nula) no lado direito
- Condição de não deslizamento nas regiões de parede

A malha triangular (Fig. 5) possui 4.110 elementos e 2.223 nós de malha, com refinamento na região da UAS e demais regiões de parede. O passo de tempo adotado foi de 1,0 s.

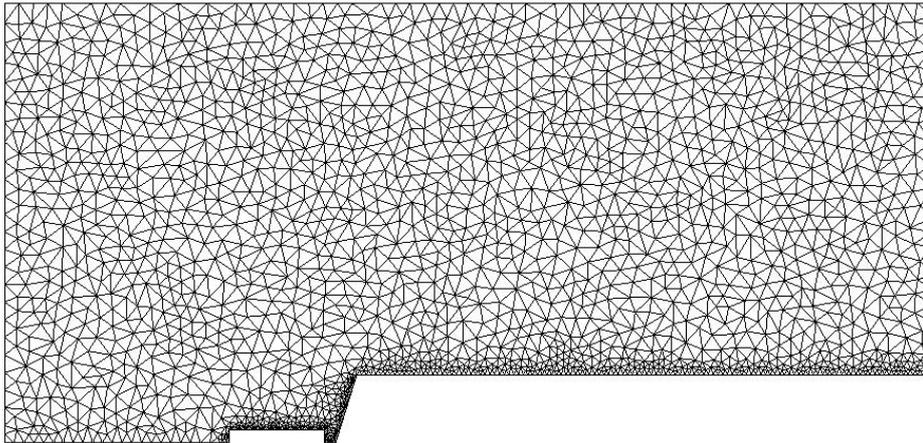


Fig. 5. malha de elementos finitos gerada para as simulações.

3. **RESULTADOS**

A simulação evoluiu até que o regime permanente foi atingido. A Tabela 1 apresenta os resultados fornecidos pelo modelo computacional.

Tabela 1. Resumo dos resultados obtidos da simulação numérica.

	Centro de Informações	Heliponto	BR-101 e adjacências
temperatura inicial	29,8 °C	29,8 °C	29,8 °C
temperatura final (de equilíbrio)	30,8 °C	30,5 °C	-
diferença de temperatura	1,0 °C	0,7 °C	0 °C

R2

A Fig. 8 apresenta as isotermas passando por cada um dos quatro pontos de interesse do estudo.

A Fig. 6 indica mais uma vez a localização dos pontos principais onde a temperatura foi avaliada e a Fig. 7 mostra as diferenças de temperatura nesses pontos numa visão de corte.

R2



Fig. 6. Identificação dos pontos principais de temperatura incluindo: Centro de Informações (CI), Heliponto (HP), BR-101 (BR) e encostas de Mata Atlântica (MA).

R2

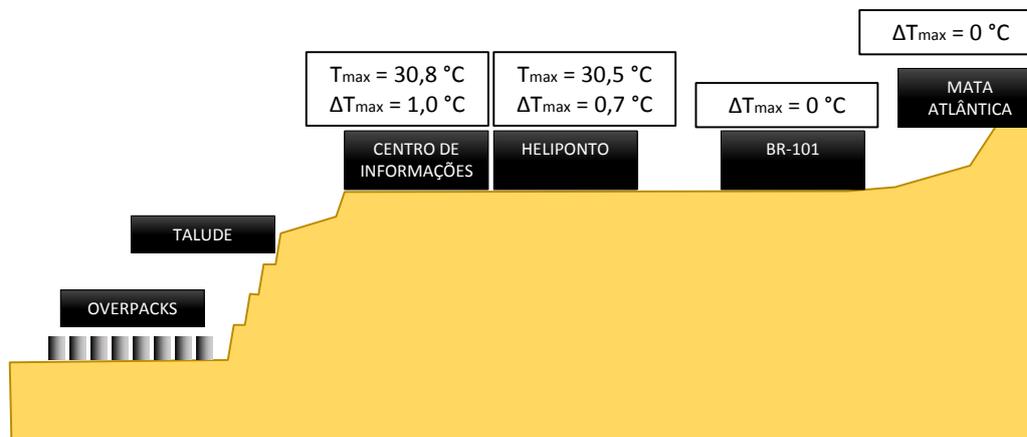


Fig. 7. Temperaturas máximas e diferenças máximas de temperatura de acordo com o modelo numérico.

Cód O&M 042/04

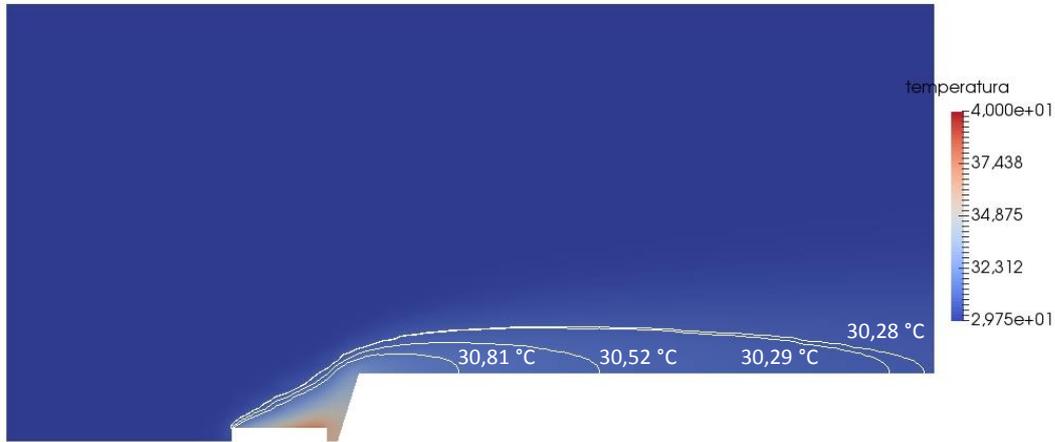


Fig. 8. Isotermas correspondentes a cada um dos 4 pontos de interesse.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos do modelo numérico mostram que, mesmo sendo adotadas premissas extremamente conservadoras, favoráveis para o aumento da temperatura na região, o acréscimo máximo de temperatura nos pontos considerados na modelagem computacional, i.e., (i) no Centro de Informações de Itaorna (Observatório Nuclear) (ii) no Heliponto e (iii) ao longo do trecho da BR-101 adjacente à CNAAA, foi no máximo pouco maior do que 1 °C.

Com relação aos valores obtidos para a região (iii), correspondente à BR-101, a conclusão é que o impacto na temperatura será nulo (0 °C), uma vez que a diferença de temperatura obtida do cálculo é muito pequena, e pelo fato de o modelo computacional considerar o trecho entre o talude próximo à UAS e a BR-101 reto e sem obstruções². Essa simplificação também favorece o transporte de calor da UAS para os pontos de interesse, sendo, portanto, conservadora. Tendo em vista esse conjunto de premissas conservadoras e o baixo valor obtido da simulação numérica, a conclusão é de que o impacto na temperatura será nulo nesse ponto.

² Seria inviável considerar um modelo com todos os detalhes presentes no domínio do estudo, como árvores, construções, variações de relevo etc.

É seguro afirmar, no entanto, que, mesmo já sendo um acréscimo pequeno, o impacto da operação da UAS em sua capacidade máxima dificilmente atingirá esse valor, uma vez que não ocorre a condição de vento constante soprando numa única direção ao longo de várias horas (o que seria necessário para que esse aumento de temperatura fosse atingido).

Outra hipótese muito conservadora é a abordagem bidimensional de um problema essencialmente 3D. O objetivo da abordagem 2D foi dispor de um modelo viável capaz de fornecer respostas para um longo tempo de simulação, uma vez que um modelo 3D para a mesma aplicação teria um custo computacional muito maior. A abordagem bidimensional é conservadora uma vez que não considera os efeitos de dissipação de calor na direção ortogonal ao plano do modelo. É como se o calor ficasse confinado no plano de simulação. Na prática, a dissipação de calor é muito maior do que o que mostra a simulação.

Além disso, por característica do código computacional utilizado, o modelo não emprega modelo de turbulência, o que também acrescenta conservadorismo ao estudo, tendo em vista que os efeitos turbulentos contribuem para uma melhor dissipação térmica.

Uma outra hipótese com larga margem de segurança é a carga térmica máxima da UAS estimada em 2.880 kW³. Esse valor nunca será atingido uma vez que considera todos os elementos na condição de recém transferidos de Angra 2, quando na verdade, a cada campanha de transferência, os elementos anteriores já estarão num estágio muito mais reduzido de calor de decaimento, bem inferior aos 1,25 kW dos recém retirados da piscina de Angra 2.

Um outro ponto é que o preenchimento dos *overpacks* não é uniforme, ou seja, os elementos com máximo calor de decaimento terão 1,25 kW, mas nem todos ECIs contidos num mesmo *overpack* estarão nesta condição, por questões de equilíbrio radiológico, de maneira que a taxa máxima de 40

³ Essa potência é dada por $2.880 \text{ kW} = 72 \text{ overpacks tipo Angra 2} \times 32 \text{ ECIs} / \text{overpack} \times 1,25 \text{ kW} / \text{ECI}$.

kW por *overpack* não será atingida nem para os primeiros módulos transferidos para a UAS.

É possível concluir, portanto, a partir da análise dessas considerações tomando como base os resultados da simulação numérica, que a operação da UAS não acarretará em impacto térmico no Centro de Informação de Itaorna (Observatório Nuclear), Heliponto, trecho da BR-101 adjacente à CNAAA e encostas de mata atlântica.

Por fim, como já mencionado na introdução deste relatório, é relevante lembrar que a carga térmica dissipada pela UAS é igual à carga térmica armazenada nas piscinas de elementos combustíveis das usinas, cujo calor é transferido para o mar. É importante, portanto, destacar que a UAS não vai gerar carga térmica nova para o ambiente, embora a fonte fria neste caso seja o ar (sem levar em conta quanto do calor transferido das piscinas para o mar é também absorvido pelo ar ambiente pela evaporação de água do mar, o que certamente ocorre). Em outras palavras, o presente estudo tem por objeto a dispersão de um calor já existente na CNAAA, que apenas será transferido para uma nova unidade de armazenamento.

Ou seja, no que se refere à operação da UAS, não haverá acréscimo de calor suficiente para causar alteração na região objeto do estudo descrito no presente relatório.

R2

R2

5. REFERÊNCIA

- /1/. Lima, Leon; 2010; Desenvolvimento de Modelos 2D Para Simulação de Escoamentos Ambientais; UERJ; http://www.gesar.uerj.br/publicacoes/2010/Lima_L_M_R_de.pdf
- /2/. BP-X-UFC-001117; 2015; Estudo da temperatura ambiente para o sistema de remoção de calor da Unidade UFC – R0;