



**VAGA MC-211 – SETOR DE ENGENHARIA DE REATORES  
CONCURSO DE PROVAS E TÍTULOS DO MAGISTÉRIO SUPERIOR  
EDITAL Nº 54 DE 30/01/2024 – PUBLICADO NO DOU Nº 24 DE 02/02/2024  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA NUCLEAR  
VAGA MC-211 – SETOR DE ENGENHARIA DE REATORES**

**DIA:** 02 de dezembro de 2024.

**LOCAL:** Sala 105 - Bloco H - Escola Politécnica/CT/UFRJ

**CADERNO DE QUESTÕES - PROVA ESCRITA**

<p>Questão 1</p>	<p>Tema 2 – Geração de Calor no núcleo do reator 2.1 - Descreva como é gerado e depositado o calor no núcleo do reator. 2.2 - Qual é a relação do termo de fonte de calor com o fluxo de neutrons 2.3 - Cite a relação entre fluxo de calor, geração volumétrica de calor, e potência linear na vareta combustível. Justifique sua resposta usando o modelo de condução estacionária em uma seção transversal da vareta.</p>
<p>Questão 2</p>	<p>Tema 3 – Termodinâmica de Centrais Nucleares 3.1 - Descreva os principais sistemas de um reator refrigerado a água leve, detalhando o funcionamento dos principais equipamentos, e do ciclo térmico associado. 3.2 - Qual é o rendimento máximo de uma central nuclear, especificando a equação correspondente.</p>
<p>Questão 3</p>	<p>Tema 4 – Equações de conservação de massa, quantidade de movimento e energia. 4.1 - Apresente e discuta as equações de balanço de massa, quantidade de movimento linear e energia sem mudança de fase e estado estacionário.</p>

PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)

CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO  
 CANDIDATO

LOCAL: SALA 105 - BLOCO II - ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ

DATA: 02/12/2024

WL40

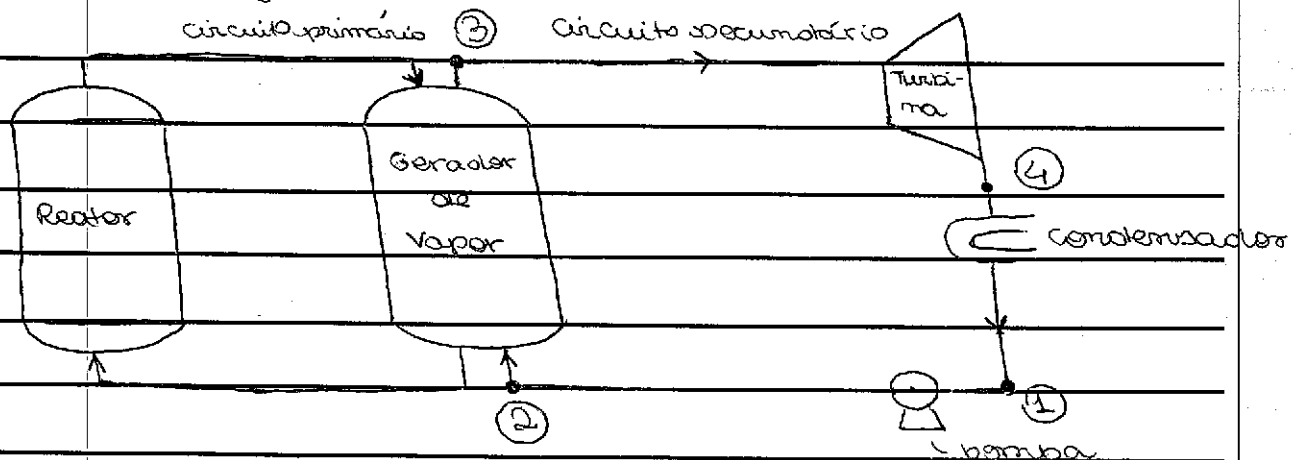
QUESTÃO Nº 2

3.1) Um reator resfriado a água leve é um reator que apresenta água leve como refrigerante e moderador simultaneamente. Existem dois principais tipos de reatores resfriados a água leve:

- Reator de água pressurizada (PWR, em inglês)
- Reator de água fervente (BWR, em inglês)

No caso do BWR, a água é vaporizada ~~em~~ no circuito primário ao absorver calor do núcleo do reator.

Já no caso do PWR, a água no circuito primário encontra-se a alta pressão e não vaporiza no circuito primário. Por ser o reator mais utilizado no mundo, consideraremos o esquema de um reator PWR a seguir:



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
ESCOLA POLITÉCNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA NUCLEAR  
EDITAL Nº 54/2024 - VAGA MC-211

CONCURSO PÚBLICO PARA PROVIMENTO EFETIVO DE VAGAS NO CARGO DE PROFESSOR DA CARREIRA DE MAGISTÉRIO SUPERIOR

PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)

CODIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO

CANDIDATO

LOCAL: SALA 105 - BLOCO H - ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ

DATA: 02/12/2024

WL40

QUESTÃO Nº 2

Mostre o esquema simplificado, podemos ver o circuito primário, onde a água recebe o calor do núcleo do reator e transfere este calor para o circuito secundário através de um gerador de vapor. No lado do secundário do gerador de vapor a água, a maior parte, pressão (comparada a do primário) é vaporizada, produzindo vapor (geralmente saturado, mas podemos ver superaquecido em alguns casos). No circuito secundário, o vapor que sai do gerador de vapor é expandido em uma turbina, produzindo trabalho de eixo. Este trabalho pode ser utilizado para propulsão (muito comum) ou utilizado para produção de energia elétrica através do acoplamento com um gerador. Após a expansão, o vapor de baixa energia, com teor de umidade considerável, é direcionado ao condensador, onde este calor de baixa energia ~~este~~ é rejeitado para o meio ambiente. O lado frio do condensador é denominado circuito terciário do reator.

O esquema apresentado na página anterior mostra em um ciclo de potência o vapor denominado ciclo de Rankine.

PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)

CODIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO

CANDIDATO

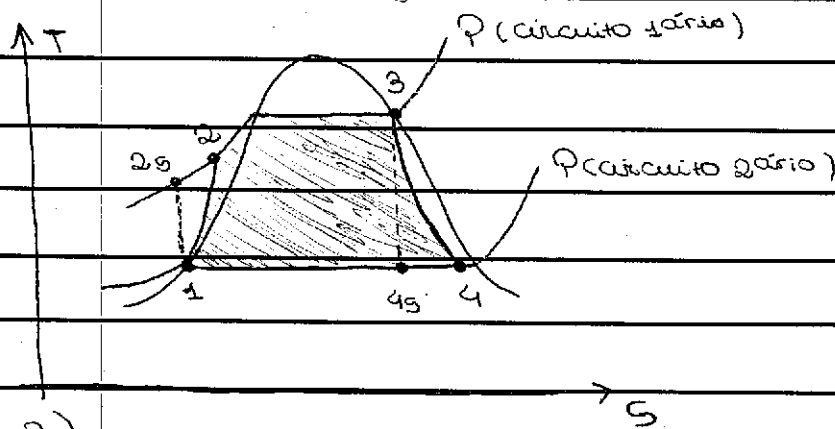
LOCAL: SALA 105 - BLOCO H - ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ

DATA: 02/12/2024

WL 40

QUESTÃO Nº 2

O diagrama temperatura por entropia deste ciclo é apresentado a seguir:



3.2)

A eficiência térmica do ciclo é definida como:

$$\eta_{th} = \frac{W_{líq}}{Q_{entra}} \quad \begin{matrix} \text{(trabalho líquido)} \\ \text{(calor que entra)} \end{matrix}$$

Logo:

$$\eta_{th} = \frac{W_{turbina} - W_{bomba}}{Q_{entra}}$$

Esta eficiência térmica (ou rendimento) é máxima quando consideramos o caso ideal em que a bomba e a turbina são isentrópicas, isto é, sem irreversibilidades. Neste caso temos:

$$\eta_{th}^{Máx} = \frac{(h_3 - h_{4s}) - (h_{2s} - h_1)}{h_3 - h_{2s}}$$

onde  $h$  representa as entalpias específicas em cada ponto (marcado no esquemático da planta e no diagrama T-S)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
ESCOLA POLITÉCNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA NUCLEAR  
EDITAL Nº 54/2024 - VAGA MC-211

CONCURSO PÚBLICO PARA PROVIMENTO EFETIVO DE VAGAS NO CARGO DE PROFESSOR DA CARREIRA DE MAGISTÉRIO SUPERIOR

PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)

CODIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO

CANDIDATO

LOCAL: SALA 105 - BLOCO H - ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ

DATA: 02/12/2024

WL40

QUESTÃO Nº 1

2.1) O calor em um reator nuclear é gerado pela fissão dos núcleos atômicos em uma reação em cadeia, onde os nêutrons provenientes da fissão tornam a fissão de outros núcleos.

O principal tipo de reator são os reatores térmicos, onde os nêutrons de fissão são "termalizados" (moderados) por um moderador (por exemplo água, grafite, etc).

Neste tipo de reator, o combustível nuclear é composto de isótopos fissionáveis como o urânio 235, que apresenta uma grande seção de choque de fissão na faixa de energias correspondente aos nêutrons térmicos (que possuem mais baixa energia).

O calor produzido na fissão é, em sua maioria, depositado no combustível, moderador e reator, porém existe uma parcela menor desta energia que apresenta uma penetração maior, como é o caso da energia ~~per~~ perdida pelos nêutrons, que é considerada irre recuperável devido ~~se~~ a alta penetração deste tipo de partículas, que são extremamente pequenas e desprezíveis de cargas elétricas. Por fim, geralmente assume-se que cerca de 96% da energia gerada na fissão

CONCURSO PÚBLICO PARA PROVIMENTO EFETIVO DE VAGAS NO CARGO DE PROFESSOR DA CARREIRA DE MAGISTÉRIO SUPERIOR

PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)

CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO

CANDIDATO

LOCAL: SALA 105 - BLOCO H - ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ

DATA: 02/12/2024

WL40

QUESTÃO Nº 1

é depositada nos elementos-combustíveis.

2.2) a relação entre fonte de calor e fluxo de nêutrons é:

$$Q = \phi \sigma_f \Delta e$$

→ reação de fissão de urânio  
 → energia liberada por fissão (≈ 200 MeV)  
 → fluxo de nêutrons  
 termo-fonte de calor

2.3) fluxo de calor:  $\langle q_f \rangle$

taxa de geração volumétrica de calor:  $\langle q_g \rangle$

potência linear:  $\langle q_l \rangle$

- fluxo de calor na vareta combustível:

$$\langle q_f \rangle = \gamma \frac{\dot{Q}}{N_v \pi d_o L}$$

onde:  $\gamma$  é a porcentagem do calor depositado nos varões combustíveis

$\dot{Q}$  é a potência térmica do núcleo

$N_v$  é o número total de varões no núcleo

$d_o$  é o diâmetro externo da vareta

$L$  é o comprimento ativo do núcleo

CONCURSO PÚBLICO PARA PROVIMENTO EFETIVO DE VAGAS NO CARGO DE PROFESSOR DA CARREIRA DE MAGISTÉRIO SUPERIOR

PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)

CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO

CANDIDATO

LOCAL: SALA 105 - BLOCO H - ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ

DATA: 02/12/2024

WL 40

QUESTÃO N° 1

- taxa de geração volumétrica de calor:

$$\langle q_v''' \rangle = \frac{\chi \dot{Q}}{N_v \pi \frac{d_{fo}^2}{4} L}$$

onde:  $d_{fo}$  é o diâmetro externo da pastilha combustível

- potência linear:

$$\langle q_v' \rangle = \frac{\chi \dot{Q}}{N_v L}$$

Logo, as possíveis relações não observadas:

$$\langle q_v'' \rangle = \frac{\chi \dot{Q}}{N_v \pi d_{co} L} = \langle q_v' \rangle$$

$$\langle q_v''' \rangle = \frac{\chi \dot{Q}}{N_v \pi \frac{d_{fo}^2}{4} L} = \langle q_v' \rangle$$

PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)

CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO

CANDIDATO

LOCAL: SALA 105 - BLOCO H - ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ

DATA: 02/12/2024

WL40

QUESTÃO N° 3

4.1) A seguir serão apresentados as equações de conservação em forma diferencial <sup>a Euleriana</sup> para o estado estacionário:

- Equação da conservação da massa:

$$\nabla(\rho \vec{v}) = 0$$

↑ densidade  
↓ velocidade

Para fluido homogêneo, vemos a seguinte forma da equação da continuidade:

$$\nabla \vec{v} = 0$$

Esta equação define como condição necessária para a conservação da massa em um ~~em~~ volume de controle diferencial, que o gradiente espacial da velocidade seja nulo, isto é:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0$$



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
ESCOLA POLITÉCNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA NUCLEAR  
EDITAL Nº 54/2024 - VAGA MC-211

CONCURSO PÚBLICO PARA PROVIMENTO EFETIVO DE VAGAS NO CARGO DE PROFESSOR DA CARREIRA DE MAGISTÉRIO SUPERIOR

PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)

CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO

CANDIDATO

LOCAL: SALA 105 - BLOCO H - ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ

DATA: 02/12/2024

WL40

QUESTÃO Nº

- Equação da conservação da quantidade de movimento linear (Equação de Navier-Stokes):

$$\nabla P = \mu \nabla^2 v + \vec{f}_e$$

Serão assumidas as hipóteses: não há aceleração temporal nem espacial do fluido. Isto é válido para a maioria dos sistemas nucleares em estado estacionário, onde a seção transversal  $\vec{e}$  do escoamento é constante. Caso as forças externas sejam desprezíveis, temos:

$$\nabla P = \mu \nabla^2 v$$

↑ pressão  
↓ viscosidade

Que traduz-se por "a viscosidade é a constante de proporcionalidade entre o gradiente de pressão e o laplaciano da velocidade do escoamento."

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
ESCOLA POLITÉCNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA NUCLEAR  
EDITAL N° 54/2024 - VAGA MC-211

CONCURSO PÚBLICO PARA PROVIMENTO EFETIVO DE VAGAS NO CARGO DE PROFESSOR DA CARREIRA DE MAGISTÉRIO SUPERIOR

PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)

CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO

CANDIDATO

LOCAL: SALA 105 - BLOCO H - ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ

DATA: 02/12/2024

WL40

QUESTÃO N°

- Equação da conservação da energia:

↗ condutividade térmica

$$k \nabla^2 T + q''' = 0$$

↘ taxa de geração volumétrica de calor

Nesta versão simplificada da eq. de conservação de energia foram desprezadas fontes externas de energia assim como os termos de convecção e distribuição interna, que geralmente são desprezáveis em sistemas nucleares.