

## TOKAMAK: REATOR DE FUSÃO NUCLEAR COMO POSSIBILIDADE ENERGÉTICA PARA O FUTURO

Hertan Bruno Nascimento de Araújo <sup>1</sup>  
Silmara Moreira Barbosa <sup>2</sup>

### INTRODUÇÃO

O presente trabalho aborda uma aplicação do estudos das estrelas como meio de desenvolvimento da tecnologia sustentável, o tokamak, um reator de fusão nuclear que promete fornecer energia pura, limpa e de baixo custo devido alta produção de energia liberada através da fusão nuclear, a qual ainda se encontra em estudos.

Diante do cenário de necessidade energética que envolve tanto conflitos por poder, como degradação ambiental, o tokamak surge como uma possibilidade de energia limpa para o futuro, verificar o conhecimento dos alunos do 3º ano sobre o assunto e apresentar com mais detalhes essa atual temática foi o intuito deste trabalho.

Percebemos que a fusão nuclear e a tecnologia do tokamak ainda são pouco conhecidas no ensino, porém, os alunos tiveram grande entusiasmo ao conhecerem a tecnologia, reconhecendo a ciência como um meio fundamental de desenvolvimento sustentável.

### METODOLOGIA (OU MATERIAIS E MÉTODOS)

O presente trabalho foi apresentado na cidade de Monsenhor Tabosa-Ceará, na escola Adalto Bezerra, no dia 19 de agosto de 2019. Inicialmente foi passado um questionário de 6 questões para uma turma do 3º ano constituída de 39 alunos, sendo que apenas 33 estavam presentes no momento; este foi articulado com intuito de diagnosticar as formas de energia que eles conheciam, avaliar qual a concepção dos mesmos acerca da energia limpa e da energia renovável, averiguar se conheciam o tokamak, além de verificar qual a importância da ciência no desenvolvimento tecnológico sustentável.

Após, foi ministrada uma aula sobre fusão nuclear, enfatizando o tokamak como opção de energia desta natureza, para tanto, utilizamos multimídia, ou seja, vídeos do tokamak, imagens, além de ilustrações mostrando quando uma carga elétrica passa por um campo magnético, sendo possível ver a deflexão da mesma; assim, levando o aluno a compreender os princípios básicos do funcionamento do tokamak. Vale mencionar que explicamos o processo de fusão nuclear entre dois isótopos de hidrogênio levando em conta a conservação da energia. Por fim, apresentamos como transformar a energia térmica do tokamak em energia elétrica, informação relevante para que os alunos tenham conhecimento do princípios básicos

---

<sup>1</sup> Graduado pelo Curso de Física da Universidade Estadual Vale do Acaraú – UVA,  
hertan\_bruno\_@hotmail.com;

<sup>2</sup> Graduanda do Curso de Ciências Biológicas da Universidade Estadual Vale do Acaraú – UVA;

de funcionamento desta tecnologia e conscientização de seu baixo impacto ambiental, sendo uma potencial opção de energia limpa para o futuro. Os questionamentos feitos aos alunos foram:

1. Quais formas de energia você conhece?
2. O que é energia limpa?
3. O que é energia renovável?
4. Você conhece o processo de fusão nuclear?
5. Você conhece o reator de fusão nuclear chamado Tokamak?
6. Você acha importante a pesquisa para o desenvolvimento tecnológico e sustentável?

## DESENVOLVIMENTO

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) tem como principal objetivo proporcionar um ensino com base em saberes essenciais ao aprendizado de todos os alunos da educação básica. Com uma série de competências e habilidades relacionadas, este documento traz a transversalidade como marca principal. No que compete ao tema das energias, a BNCC apresenta em sua competência três e habilidade nove a necessidade de estimular no aluno a capacidade de

Analisar questões socioambientais, políticas e econômicas relativas à dependência do mundo atual em relação aos recursos não renováveis e discutir a necessidade de introdução de alternativas e novas tecnologias energéticas e de materiais, comparando diferentes tipos de motores e processos de produção de novos materiais [1].

Com progresso e crescentes avanços tecnológicos houve também um aumento de consumo energético, como nossos recursos são finitos há a necessidade de buscar outras formas de energia, tais como a fusão, fissão e outras. A primeira ainda encontra-se em estudos, a outra já é utilizada em reatores nucleares na produção de energia elétrica. Depois de 10 bilhões de anos após o surgimento do big bang, surgem 85% de hidrogênio e 15% de hélio, sendo os primeiros elementos a formarem-se no nosso universo, conforme a tese de doutorado de Ralph Alpher.

Para compreender o processo de fusão necessitamos rever a estrutura do átomo, podendo dividi-lo em duas partes, ou seja, núcleo e eletrosfera, o primeiro tem um raio da ordem de 1 a 10 femtômetros denotado por  $1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$ , o segundo tem o raio médio igual a cem mil vezes um femtômetro,  $100.000 \text{ fm} = 0,1 \text{ nm}$ . O núcleo é composto por partículas denominadas prótons e nêutrons, ambas constituídas de quarks e existe uma relação entre estes átomos e as quatro forças da natureza: a nuclear forte, nuclear fraca, gravitacional e eletromagnética.

Elas são importantes pois em conjunto regem o universo observável; a primeira age mantendo os prótons unidos no núcleo devido à partícula chamada de glue, do inglês que significa cola; a segunda é responsável pelo decaimento radioativo, também chamada radioatividade; já a terceira atua na atração entre massas, explicando o porquê da matéria atrair matéria e a suposta partícula responsável por tal função é o graviton, enquanto a quarta explica a atração e repulsão entre cargas elétricas.

As primeiras estrelas do universo foram formadas por hidrogênio, com ação da força gravitacional que aglutinou uma quantidade de gás e com a compressão do gás houve um aumento da temperatura, assim, possibilitando ocorrer a fusão nuclear, sendo as estrelas responsáveis pela formação dos elementos da tabela periódica, pois obviamente são formados por este processo.

Para que núcleos leves se fundam, produzindo energia a partir do processo de fusão nuclear, é necessário que colidam com energia suficiente para vencer a repulsão coulombiana, ou seja, que tenham energia suficiente para se aproximarem uma distância da ordem do raio nuclear, apesar da repulsão eletrostática entre eles. [2]

Através de estudos e observações astronômica foi possível iniciar o estudo do plasma, posteriormente compreendendo os processos de fusão nuclear das estrelas, assim, levando os cientistas a construir reatores de fusão nuclear na terra com a finalidade de produção de energia elétrica, já que nossos recursos são finitos e existem diversos tipos de reatores, vamos focar nossa atenção no tokamak, por ter demonstrado melhores resultados tecnológicos.

O combustível do tokamak é o plasma, considerado o quarto estado da matéria, então, para conseguí-lo aqui na terra é necessário aquecermos deutério e trítio de tal forma que os elétrons sejam arrancados dos átomos presentes, assim, "constituído de um sistema de partículas carregadas, geralmente elétrons e íons positivos, macroscopicamente neutro"[3]. As estrelas foram de grande importância para o estudo do plasma, constituindo-se uma das principais fontes de estudo desta temática, pois são formadas de plasma a altas temperaturas. A ciência que estuda as propriedades e aplicações tecnológicas do plasma é a física dos plasmas, sendo uma área que pode revolucionar nosso mundo, a exemplo, com pesquisas em energia renovável e barata.

Diante disso, trazer ao conhecimento dos alunos novas tecnologias energéticas limpas e demonstrá-los a importância da ciência para o desenvolvimento tecnológico sustentável promove o incentivo à pesquisa pelos estudantes, estimulando-os, futuramente, a atuarem nesta área como agentes transformadores de seu meio.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quanto ao resultado da primeira questão constatamos que 100% da turma afirma conhecer a energia solar, 87% a energia eólica, 33% a energia nuclear, 27% a energia térmica, 21% a hidrelétrica, 12% a energia geotérmica, enquanto biomassa e energia das marés foram citadas por apenas 3% da turma. A respeito da segunda pergunta do questionário 63% dos alunos disseram que energia limpa é aquela que não polui o meio ambiente, 15% não sabiam a resposta, 6% dizem ser aquela que utiliza os meios naturais, sendo importante ressaltar que 6% responderam essa pergunta dando apenas o exemplo da energia solar, enquanto 3% responderam que é aquela que não necessita de transformação, sendo a mesma porcentagem tanto para a resposta "energia que é utilizada com recursos", como para "energia que contribui com a natureza".

A análise das resposta da terceira pergunta revelou que 72% dos discentes trataram a energia renovável como àquela que se renova e é inesgotável, 9% não sabiam a resposta, 6% dizem ser uma energia que não prejudica o planeta, enquanto 3% relata-a definindo como uma energia que pode reservar-se, sendo a mesma porcentagem para "energia que não esgota recursos naturais", também o mesmo quantitativo para "energia que pode se esgotar com o passar do tempo", sendo mais citado apenas um exemplo referente à questão, em que o aluno citou apenas "energia eólica". Com relação à quarta questão, 84% dos alunos revelaram desconhecer o processo de fusão nuclear, enquanto 12% disseram que conheciam o processo e 3% relataram sabê-lo apenas em parte. A indagação a respeito do conhecimento sobre o tokamak mostrou que 93% da turma não ouviu falar desta tecnologia e apenas 3% disseram conhecê-la.

Por último, quando posto em questão se a ciência era importante para o desenvolvimento tecnológico e sustentável, 100% da turma afirmaram que sim, sendo curioso

relatar a explicação de um dos alunos que disse o desenvolvimento tecnológico beneficia não somente o meio acadêmico da ciência, mas também o cidadão comum no seu dia a dia.

Analisando as energias mais presentes no estado do Ceará, onde os alunos residem, percebemos a seguinte situação

O Ceará tem 79 projetos eólicos em operação (2GW), cinco projetos em construção não iniciada (115MW) e 83 projetos cadastrados na Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), totalizando ~ 2,2 GW. A energia solar no estado está com quatro projetos em operação (137 MW), 14 em construção (390 MW), 110 projetos solares totalizando 3,7 GW e 1722 unidades com geração distribuída totalizando 36,6 MW.[4]

Dessa forma, notamos que estas formas de energia são mais presentes devido as características naturais apresentadas pelo estado, pois segundo [5] “as condições semiáridas proporcionam à Região Nordeste grande potencialidade no desenvolvimento de energias renováveis complementares, como a eólica e solar.”

A respeito do Brasil, os dados apresentados por [6] informam que a fonte de energia mais utilizada ainda é a termelétrica, uma energia não renovável, seguida da Central geradora solar fotovoltaica, Central geradora hidrelétrica, eólica, sendo uma das menos utilizadas a energia nuclear.

Diante do exposto, notamos que a energia nuclear ainda não é popular no conhecimento da turma, talvez por não ser um campo tão cotidiano na vida dos alunos da região, onde a eólica e solar são mais presentes e populares pela intervenção da mídia, ou seja, principalmente através da internet e televisão.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia nuclear tanto no Brasil quanto no estado do Ceará ainda não é uma fonte utilizada com frequência, sendo necessário investimentos na área de pesquisa de energias, importante fator no desenvolvimento de um país.

Embora o Tokamak não represente uma fonte de energia renovável possui um alto potencial de produção de energia e uma segurança consideravelmente alta, sendo necessário ao Brasil pesquisas que permitam esclarecer a viabilidade e possivelmente a inclusão futura desta tecnologia na matriz energética do nosso país.

Portanto, podemos perceber que os alunos possuem mais conhecimento acerca de energias renováveis representativas de seu estado, relatando em baixa frequência outras fontes de matriz energética, sendo a tecnologia do Tokamak ainda desconhecida para a maioria da turma, que demonstrou grande interesse no decorrer da aula explicativa deste assunto.

**Palavras-chave:** Energia, Sustentabilidade, Tokamak.

## REFERÊNCIAS

[1] BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Básica. **Base Nacional Comum Curricular: Educação é a Base**. Brasília, 2018. 560 p.

[2] GALVÃO, M.O.R. **Introdução à Física de plasmas e suas aplicações tecnológicas**. Notas de Aula.

[3] Física de plasma. **Pesquisa no Instituto de Física da USP**. São Paulo. Disponível em <<https://portal.if.usp.br/pesquisa/pt-br/node/936>>. Acesso em 30 de set. de 2019.

[4] Atlas Eólico e Solar apresenta potenciais de geração do Ceará. **Governo do Estado do Ceará**. Ceará, 30 de maio de 2019. Disponível em: <<https://www.ceara.gov.br/2019/05/30/atlas-eolico-e-solar-apresenta-potenciais-de-geracao-do-ceara/>>. Acesso em: 22 de set. de 2019.

[5] Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE. **Panorama da produção de energia elétrica no Estado do Ceará: Um enfoque para a matriz eólica**. Nº 141, Fortaleza, 2018. 12p.

[6] Capacidade de Geração do Brasil. **Agência Nacional de Energia Elétrica**, Brasil, 23 de setembro de 2019. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset\\_publisher/CegkWaVJWF5E/content/big-banco-de-informacoes-de-geracao/655808?inheritRedirect=false](http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/big-banco-de-informacoes-de-geracao/655808?inheritRedirect=false)>. Acesso em: 23 de set. de 2019.