

RESULTADOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO ESTUDO DO MÉTODO DE MONTE CARLO NUM CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA NUCLEAR.

**Rebello, W. F.^{1,2}, Andrade, E. R.^{1,3}, Medeiros, M. P. C.^{1,4}, Gomes, R.G.^{1,4}, Silva, A. X.⁴,
Correa, S. C. A.⁵, Souza, E. M.⁶**

¹Instituto Militar de Engenharia, Brasil

²Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

³Centro Tecnológico do Exército, Brasil

⁴Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

⁵Comissão Nacional de Energia Nuclear, Brasil

⁶Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Brasil

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo apresentar a experiência do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Nuclear do Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil, na implementação da linha de ensino e pesquisa em técnicas do Método de Monte Carlo aplicadas no cálculo do transporte das radiações. Desde 2008 a disciplina de Tópicos Especiais em Física Nuclear Aplicada tem sido oferecida no curso de Pós-Graduação em Engenharia Nuclear do IME, sendo seu foco o estudo de técnicas de Monte Carlo empregadas no cálculo do transporte da radiação para diversos fins. A disciplina é ministrada utilizando um código de transporte de radiação baseado no Método de Monte Carlo, abrangendo diversas áreas de aplicação, desde a física de reatores até a radioproteção. A criação dessa disciplina e a consequente evolução da nova linha de pesquisa permitiram que o IME formasse até o presente momento 12 mestres em engenharia nuclear em diversos temas relacionados ao Método de Monte Carlo, dos quais se pode citar: a irradiação de materiais; a detecção e instrumentação nuclear; o cálculo de dosimetria interna usando fantasmas em Voxel; a radioterapia através de Aceleradores Lineares e feixe de prótons; cálculos de blindagem; desenvolvimento de irradiadores de nêutrons; e o estudo de reatores nucleares de Potência e de Pesquisa. Foram produzidos vários trabalhos técnicos ao longo desses 7 anos e diversos alunos do IME foram encaminhados para outros centros de ensino onde estão desenvolvendo suas teses de doutorado em temas correlatos. Conclui-se dessa experiência que, com pequeno custo de implementação associado aos excelentes resultados obtidos, a linha de pesquisa em Métodos de Monte Carlo apresentou uma excelente relação custo benefício para o Programa de Engenharia Nuclear do IME.

ABSTRACT

This work aims to present the experience of the Graduate Course in Nuclear Engineering at Military Engineering Institute (IME), Rio de Janeiro, Brazil, in the implementation of teaching and research on applied Monte Carlo Method techniques to radiation transport. Since 2008 the Special Topics course in Applied Nuclear Physics has been offered. Its main subject is Monte Carlo techniques applied to the calculation of the radiation transport. The course is taught by using one radiation transport code based at Monte Carlo Method, covering various application areas, from reactor physics to radiation protection. The implementation of

this subject and consequently the start of the new line of research has ended up producing 12 masters in Nuclear Engineering in several topics related to the Monte Carlo Method such as: irradiation; detection and nuclear instrumentation; internal dosimetry calculations using phantoms in Voxel; radiotherapy using linear accelerators and proton beam; screening calculations; development of neutron irradiators; and the study of nuclear power reactors and research. Several papers were produced during these seven years with several students referred to other educational centers where they are developing their doctoral on theses related topics. Small implementation with low costs can reach impressive results from Monte Carlo Methods research line which is valuable for the Nuclear Engineering Program at IME.

1. INTRODUÇÃO:

Criado em 1958, o curso de especialização em Engenharia Nuclear do Instituto Militar de Engenharia foi pioneiro no Brasil. Atualmente, como um curso de mestrado, tem como missão formar mestres em Engenharia Nuclear dentro das linhas de pesquisa de Controle Ambiental e Reatores Nucleares. Até 2007, o Método de Monte Carlo - MMC era apenas citado no Programa dentro das cadeiras de Física de Reatores e Interação da Radiação com a Matéria, sem maior aprofundamento. A partir de 2008, o estudo do MMC passou a integrar o rol de assuntos ministrados no Programa, sendo introduzido na disciplina de Física Nuclear Aplicada, criada naquele ano. A partir de então, o MMC passou a ser estudado e aplicado no Programa, gerando vários temas de dissertação bem como diversos trabalhos científicos.

O MMC trata-se de um método de cálculo baseado em informações probabilísticas de um determinado evento, podendo ser empregado para representar qualquer processo estatístico e calcular a probabilidade de ocorrência de determinada resposta desejada. Empregado em diversas áreas do conhecimento, tem no campo do cálculo do transporte da radiação ionizante elevada importância, onde seu emprego consiste em gerar e seguir cada partícula ou fóton desde a sua origem, onde ocorre o seu “nascimento”, até a sua “morte”, dada por seu escape de um determinado volume de controle, absorção ou saída do espectro de energia limitante. Diversos são os códigos que empregam o MMC na área nuclear, citando-se o: EGS (Electron Gamma Shower); GEANT (GEometry ANd Tracking); PENELOPE (PENetration and Energy LOSS of Positrons and Electrons); e o MCNP (Monte Carlo N-Particle).

2. METODOLOGIA

Iniciados os estudos em MMC no IME, ainda em 2008, adotou-se o uso do código MCNP em sua versão eXtended MCNP-X dando-se início, também, ao desenvolvimento de dissertações de mestrado aplicando o MMC. Os primeiros trabalhos foram realizados já dentro de duas linhas de pesquisa distintas: reatores nucleares e controle ambiental, aproveitando-se, desde o início, a capacidade multipropósito do código MCNPX.

No nosso Programa, foi adotada uma estratégia de trabalho onde primeiramente se procurou desenvolver e/ou aprimorar modelos computacionais que servissem de plataforma para vários

estudos, e assim foi feito podendo-se citar: o aprimoramento do modelo computacional de um acelerador linear utilizado em radioterapia; a criação de um modelo do reator nuclear de pesquisa Argonauta do Instituto de Engenharia Nuclear – IEN e do modelo do reator nuclear de potência de Angra II; a criação de um modelo do Irradiador de Pesquisa Gama do Centro Tecnológico do Exército, CTEEx; o desenvolvimento de um aplicador de feixe de prótons empregado em protonterapia; o desenvolvimento de um irradiador de nêutrons e etc. Esses trabalhos foram denominados por nós como “trabalhos de base”, que permitiriam o desenvolvimento de diversos outros trabalhos a partir dos mesmos, ganhando-se tempo. Um exemplo dessa metodologia foi o desenvolvimento do cabeçote do Acelerador Linear Varian 2300 C/D, um trabalho base que deu origem a diversos outros, citando-se: cálculos de dosimetria interna em pacientes; cálculos de blindagem; simulações de tratamentos de câncer de próstata etc.

3. RESULTADOS

Os resultados obtidos em nosso programa estão apresentados na Tabela 1 que expõe um resumo dos resultados obtidos ao longo desses anos em que se passou a empregar o MMC no ensino/pesquisa do Programa de Engenharia Nuclear do IME. A Tabela é dividida em três colunas: a coluna da esquerda apresenta o título da dissertação e ano da sua conclusão, a do meio apresenta um resumo do que foi feito na dissertação e a da direita a produção científica referenciada, originária direta ou indiretamente da dissertação.

Tabela 1. Trabalhos produzidos no Programa de Eng. Nuclear do IME usando o MMC.

Título da dissertação de mestrado - Ano	Resumo da dissertação	Ref.*
Simulação do reator nuclear de pesquisa Argonauta do IEN usando o código MCNPX - 2010	Utilizando o MCNPX, o aluno realizou uma modelagem completa do Reator Argonauta do Instituto de Engenharia Nuclear – IEN, validando o modelo através de cálculos de criticalidade e de perfil de fluxo de nêutrons do reator	[1 e 2]
Desenvolvimento de uma blindagem contra fotonêutrons para proteção de pacientes submetidos à radioterapia – 2010	Nesta dissertação o aluno, utilizando o MCNPX, aprimorou a modelagem realizada por Rebello e colaboradores [4] do cabeçote do acelerador linear Varian 2300 C/D e desenvolveu uma blindagem que seria posicionada na parte inferior do cabeçote, visando à proteção dos pacientes quanto aos nêutrons produzidos no acelerador linear.	[3,5,6, 7 e 8]
Cálculo da distribuição de fluxo e taxa de dose gama no interior do irradiador de pesquisa do CTEEx usando simulação	Nesta dissertação, o aluno, usando o MCNPX, criou um modelo do irradiador de pesquisa do CTEEx calculando o espectro de gamas dentro das câmaras de irradiação do referido irradiador. Esse modelo, desenvolvido pelo aluno Rusin [9], foi deu origem a	[9,10, 11,12 e 13]

computacional baseada no método de Monte Carlo - 2010	inúmeros trabalhos, bem como foi utilizado por outros alunos em suas dissertações.	
Simulação computacional do tratamento de radioterapia, com cálculo de doses em tecidos sadios e no tumor, utilizando o código MCNPX e fantoma MAX – 2011	Neste trabalho o aluno, utilizando o MCNPX, realizou uma modelagem completa de um tratamento de radioterapia de próstata utilizando um acelerador linear operando em 18 MeV, segundo o protocolo de tratamento do Instituto Nacional do Câncer – INCA, calculando as doses indesejáveis sobre os tecidos sadios dos pacientes. O Aluno utilizou o modelo do cabeçote aprimorado por Roque [3] em sua dissertação concluída em 2010	[14,15,16,17,18,19,20 e 21]
Simulação computacional utilizando o código (MCNPX) e o fantoma MAX do tratamento radioterápico do câncer de próstata com o acelerador linear operando na energia de 15MV - 2011	Neste trabalho a aluna, utilizando o MCNPX, realizou uma modelagem completa de um tratamento de radioterapia de câncer de próstata, similar ao trabalho de Thalsofer [14], porém com o equipamento operando a 15 MeV. Seguiu-se, também, o protocolo de tratamento do Instituto Nacional do Câncer – INCA, calculando-se as doses indesejáveis sobre os tecidos sadios dos pacientes. Este trabalho complementou o trabalho do aluno Thalsofer [14].	[22,23 e 24]
Desenvolvimento de um aplicador para próton terapia através de modelagem computacional utilizando Método de Monte Carlo - 2012	Neste trabalho a aluna desenvolveu, com o auxílio do MCNPX, um aplicador para protonterapia. Os resultados calculados foram comparados com valores existentes na literatura, apresentando grande concordância. Também, neste trabalho, foi definida a curva de SOBP do equipamento desenvolvido.	[25 e 26]
Investigações do ambiente gama no interior do irradiador do CTEEx com o código nuclear MCNPX - 2012	Neste trabalho o aluno, utilizando o MCNPX, deu continuidade ao trabalho de Rusin [9] aprimorando o modelo do Irradiador Gama do CTEEx desenvolvido pelo mesmo.	[27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34e35]
Simulação do Núcleo do reator Nuclear de Angra 2 Utilizando o Código MCNPX.	Neste trabalho o aluno, utilizando o MCNPX, realizou uma modelagem do núcleo do reator nuclear de Angra II, comparando os resultados obtidos de criticalidade e fluxo de nêutrons com os valores do Final Safety Analysis Report - FSAR do reator.	[36, 37, 38 e 39]
Desenvolvimento de um sistema transportável de irradiação de nêutrons, utilizando o código MCNPX	Neste trabalho, utilizando o MCNPX, o aluno desenvolveu um anteprojeto básico de um sistema transportável de irradiação de nêutrons utilizando uma fonte de 1Ci de Am-Be.	[40, 41, 42 e 43]
Simulação Aperfeiçoada do Ambiente Gama não Perturbado do Irradiador do CTEEx.	Nesse trabalho o aluno, utilizando o MCNPX, deu prosseguimento nos trabalhos de Rusin [9] e Gomes [27], aprimorando o modelo computacional do Irradiador Gama do CTEEx, comparando valores de espectro gama calculados pelo MCNP com valores experimentais de espectro gama do irradiador.	[44]
Análise de Distribuição de Taxa de Dose no Interior de Amostras	Nesse trabalho a aluna, trabalhando em paralelo ao Moreira Junior [44], utilizou o MCNPX para calcular a distribuição de taxa de dose em amostras	[45]

Tratadas no Irradiador De pesquisa do CTEEx	padronizadas a serem irradiadas pelo Irradiador Gama do CTEEx, os resultados obtidos permitiram avaliar a deposição de energia dentro dessas amostras.	
Comparação, usando simulação em Monte Carlo, da influência das doses devido a nêutrons em pacientes, considerando-se a utilização de uma blindagem adicional de chumbo ou aço adicionada às paredes internas de salas de radioterapia	Nesse trabalho a aluna, utilizando o MCNPX, avaliou o uso do aço e do chumbo na blindagem de salas de radioterapia, concluindo que o uso do chumbo aumenta na ordem de 8% as doses indesejáveis sobre o paciente quando comparado com o uso do aço na blindagem.	[46]

*Trabalhos originados direta ou indiretamente da dissertação.

4. CONCLUSÕES

O baixo custo de implementação da linha de pesquisa em Monte Carlo associado aos resultados obtidos e apresentados neste trabalho, demonstram que o estudo e aplicação deste método nos campos do Ensino e Pesquisa de Programas de Pós Graduação em Engenharia Nuclear apresentam excelente relação custo-benefício. A experiência do IME caracteriza de forma exemplar os resultados que podem ser obtidos com o emprego das técnicas de Monte Carlo na solução de problemas que envolvam o cálculo do transporte da radiação. Além disso, deve-se destacar que o uso do código MCNPX permitiu a realização de estudos muito diversificados, confirmando ser esse código extremamente hábil na resolução dos mais variados problemas, multidisciplinares dentro do próprio campo da Engenharia e Física nuclear.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cunha, V.L.L. "Simulação do reator nuclear Argonauta do IEN usando o código MCNPX". *Dissertação de Mestrado Instituto Militar de Engenharia*, Rio de Janeiro (2010).
2. Cunha, V. L. L.; Rebello, W. F.; Cabral, R. G.; Silva, A. X.; Melo, F. S. . "Cálculo de Criticalidade Comparando-se o MCNPX com Método do Albedo". *Anais do XII Encontro de Modelagem Computacional*, Rio de Janeiro (2009).
3. Roque, H. "Desenvolvimento de uma blindagem contra fotonêutrons para proteção de pacientes submetidos à radioterapia". *Dissertação de Mestrado Instituto Militar de Engenharia*, Rio de Janeiro (2010).
4. Rebello, W. F.; Silva, A. X.; Facure. A.. "Multileaf Shielding Design Against Neutrons Produced by Medical Linear Accelerators". *Radiation Protection Dosimetry* v. **128**, p. 227-233 (2008).
5. Thalhoffer, J. L.; Roque, H.S. ; Rebello, W. F. ; Correa, S. C. A. ; Silva, A. X. ; Souza, E. M. ; Batista, D. V. S. ; Sandrini, E. S. . "Effect of External Shielding for neutrons during radiotherapy for prostate cancer, considering the 2300 CD Linear Accelerator and Voxel phantom". *Radiation Physics and Chemistry* , v. **95**, p. 267-270 (2014).

6. Roque, H.S. ; Rebello, W. F. ; Silva. “Development of Shielding to Protect Patients Against Photoneutrons Produced by LINACS in Radiotherapy Treatments”. *Revista Brasileira de Física Médica*, v. **5**, p. 201-204 (2011).
7. Roque, H.S. ; Silva, A. X. ; Facure, A. ; Rebello, W. F. . “Monte Carlo simulation for the production of neutrons inside the labyrinth function rooms radiotherapy in head rotation of medical linear accelerators use an energy operations”. In: *Anais do International Nuclear Atlantic Conference*, Recife, (2013).
8. Roque, H.S. ; Rebello, W. F. ; Silva A. X. ; Silva, M. G. “Evaluation using Monte Carlo simulations of the effect of a shielding, called external shielding, for fotonêutrons generated in linear accelerators, using the computational model of a Varian accelerator 2300 C/D Operating in eight rotation angles of the gantry”. *Anais do International Nuclear Atlantic Conference* , Belo Horizonte (2011).
9. Rusin, T.. “Cálculo da distribuição de fluxo e taxa de dose gama no interior do irradiador de pesquisa do CTEx usando simulação computacional baseada no método de Monte Carlo”. *Dissertação de Mestrado Instituto Militar de Engenharia*, Rio de Janeiro (2010).
10. Rusin, T. ; Rebello, W. F. ; Vital, H. C. ; Vellozo, S. O. ; Gomes, R. G. .”MCNPX calculations of dose rate distributions inside samples treated in the research gamma irradiating facility at CTEx”. *Anais do International Nuclear Atlantic Conference*, Belo Horizonte, (2011).
11. Rusin, T. ; Rebello, W. F. ; Vital, H. C. ; Vellozo, S. O. ; Silva, A. X.; Gomes, R. G..”MCNPX simulations of the research gamma irradiator at CTEx”. *Anais do International Nuclear Atlantic Conference*, Belo Horizonte, (2011).
12. Rusin, T. ; Rebello, W. F. ; Vital, H. C. ; Vellozo, S. O. ; Silva; Gomes, R. G.. “Simulação do Irradiador Gama de Pesquisa do Centro Tecnológico do Exército Utilizando o Código MCNPX”. *Anais do XIV Encontro de Modelagem Computacional*, 2011, Nova Friburgo (2011).
13. Rusin, T. ; Rebello, W. F. ; Vital, H. C. ; Vellozo, S. O. ; Silva, A. X.; Gomes, R. G.. “Cálculo da Distribuição de Taxa de Dose Dentro de Amostras Irradiadas no Irradiador Gama de Pesquisa do CTEx”. *Anais do XIV Encontro de Modelagem Computacional*, 2011, Nova Friburgo (2011).
14. Thalhofer, J. L. . “Simulação computacional do tratamento de radioterapia, com cálculo de doses em tecidos sadios e no tumor, utilizando o código MCNPX e fantoma MAX.”. *Dissertação de Mestrado Instituto Militar de Engenharia*, Rio de Janeiro (2011).
15. Thalhofer, J. L. ; Rebello, W. F. ; Correa, S. C. A. ; Silva, A. X. ; Souza, E. M. ; Batista, D. V. S.. “Calculation of Dose in Healthy Organs, during Radiotherapy 4-Field Box 3D Conformal for Prostate Cancer, Simulation of the Linac 2300, Radiotherapy Room and MAX Phantom”. *International Journal of Medical Physics, Clinical Engineering and Radiation Oncology*, v. **2**, p. 61-68 (2013).
16. Thalhofer, J. L. ; Rebello, W. F. ; Correa, S. C. A. ; Silva, A. X. ; Souza, E. M. ; Batista, D. V. S.. “Calculation of dose in healthy organs, due to photons, in the radiotherapy treatment for prostate cancer, using computer modeling and voxel phantom” *Anais do International Nuclear Atlantic Conference*, Belo Horizonte (2011).
17. Thalhofer, J. L. ; Rebello, W. F. ; Correa, S. C. A. ; Silva, A. X. ; Souza, E. M. ; Batista, D. V. S.. “Simulação Computacional do Tratamento de Câncer de Próstata, com Cálculo Dose em Órgãos Sadios” *Anais do XIV Encontro de Modelagem Computacional*, Nova Friburgo (2011).
18. Thalhofer, J. L. ; Rebello, W. F. ; Correa, S. C. A. ; Silva, A. X. ; Souza, E. M. ; Batista, D. V. S.. “Cálculo de dose em órgãos sadios, devido a fótons, no tratamento de radioterapia para câncer de próstata, utilizando modelagem computacional e o fantoma em voxel” *Anais do XIII Encontro de Modelagem Computacional*, Nova Friburgo (2010).

19. Rebello, W. F. ; Silva, H. R. ; Thalhoffer, J. L.; Silva, A. X..“Análise, usando o código MCNPX, do efeito de uma blindagem contra nêutrons para aceleradores lineares usados em radioterapia, considerando a rotação do gantry do acelerador”. *Anais do XIII EMC*, Nova Friburgo (2010).
20. Thalhoffer, J. L. ; Roque, H.S. ; Rebello, W. F. ; Correa, S. C. A. ; Silva, A. X.; Souza, E. M. ; Batista, D. V. S. ; Sandrini, E. S. . “Effect of the shield photoneutrons during treatment of radiotherapy for prostate cancer, using linear accelerator 2003 c/d and voxel phantom”. *Anais do 12th International Symposium on Radiation Physics*, Rio de Janeiro (2012).
21. Rebello, W. F. ; Roque, H.S. ; Sandrini, E. S. ; Silva, M. G. ; A. X. Silva ; Thalhoffer, J. L. . “Comparison, using monte carlo, of the influence of dose due to neutrons at the patient considering the use of lead or steel shielding on the inner walls of radiotherapy rooms. In: 12th International Symposium on Radiation Physics”, *Anais do 12th International Symposium on Radiation Physics*, Rio de Janeiro (2012).
22. Sandrini, E. S.. “Simulação computacional utilizando o código (MCNPX) e o fantoma MAX do tratamento radioterápico do câncer de próstata com o Linac operando na energia de 15MV”. *Dissertação de Mestrado Instituto Militar de Engenharia*, Rio de Janeiro (2011).
23. Sandrini, E. S. ; Rebello, W. F. ; Correa, S. C. A. ; Silva, A. X. ; Roque, H.S. ; Thalhoffer, J. L. . “Cálculo da dose equivalente e efetiva proveniente de fótons em órgãos sadios num tratamento radioterápico de próstata utilizando modelagem computacional e fantoma voxel”. *Anais do 15º Encontro de Modelagem Computacional*, Uberlândia (2012).
24. Sandrini, E. S. ; Rebello, W. F. ; Thalhoffer, J. L. ; A. X. Silva ; Correa, S. C. A. ; Batista, D. V. S. . “Calculation of healthy organ dose due photons and neutrons for patients undergoing prostate radiotherapy with 15MV x-ray beam using computer modeling and voxel phantom”. *Anais do 12th International Symposium on Radiation Physics*, Rio de Janeiro (2012).
25. Peixoto, F. T. A..“Desenvolvimento de um aplicador para próton terapia através de modelagem computacional utilizando Método de Monte Carlo”. *Dissertação de Mestrado Instituto Militar de Engenharia*, Rio de Janeiro (2012).
26. Peixoto, F. T. A. ; Rebello, W. F. ; Souza, E. M. ; Silva, A. X. ; Correa, S. C. A. ; Beltrão, L..“Determinação, Através de Simulação em Monte Carlo, do Spread-Out Bragg Peak (SOBP) para Feixes de Prótons”. *Anais do XIV Encontro de Modelagem Computacional*, Nova Friburgo (2011)
27. Gomes, R. G.. “Investigações do ambiente gama no interior do irradiador do CTEEx com o código nuclear MCNPX”. *Dissertação de Mestrado IME*, Rio de Janeiro (2012).
28. Gomes, R. G. ; Vital, H. C. ; Rebello, W. F. ; Medeiros, M. P. C. ; Vellozo, S. O. ; Silva, A. X. ; Moreira, L. . “Cálculo gama espectral no interior do irradiador de pesquisa do centro tecnológico do exército utilizando o código MCNPX e comparação com espectros de energia do césio 137 levantados em laboratório”. *Anais do XVI Encontro de Modelagem Computacional*, Ilhéus (2013).
29. Gomes, R. G. ; Vital, H. C. ; Rebello, W. F. ; Medeiros, M. P. C. ; Vellozo, S. O. ; Silva, A. X. ; Moreira, L.. “Cálculo das taxas de dose no canal de fuga do irradiador gama de pesquisa do centro tecnológico do exército utilizando o código MCNPX”. In: XVI Encontro de Modelagem Computacional, 2013, Ilhéus. *Anais do XVI Encontro de Modelagem Computacional*, Ilhéus (2013).
30. Gomes, R. G. ; Rebello, W. F. ; Vital, H. C. ; Moreira, L. ; Rusin, T. ; Vellozo, S. O. . “MCNPX calculations of dose rates and spectra in experimental channels of the CTEEx irradiating facility”. *Anais do International Nuclear Atlantic Conference* (2013).
31. Gomes, R. G.; Vital, H. C.; Rebello, W. F.; Vellozo, S. O.; Silva, A. X. “Cálculo da influência do espalhamento sobre as taxas de dose do irradiador gama de pesquisa do Centro

Tecnológico do Exército utilizando o código MCNPX”. *Anais do 15º Encontro de Modelagem Computacional*, 2012, Uberlândia (2012).

32. Gomes, R. G. ; Vital, H. C. ; Rebello, W. F. ; Vellozo, S. O. ; Silva, A. X. . “Cálculo da distribuição da taxa de dose gama no irradiador de pesquisa do CTEEx utilizando o código MCNPX”. *Anais do XV Encontro de Modelagem Computacional*, Uberlândia (2012)

33. Gomes, R. G.; Vital, H. C.; Rebello, W. F.; Rusin, T.; Vellozo, S. O.; Silva..“Simulation of dose rate distributions in the research irradiating facility at CTEEx with the MCNPX computer code”. *Anais do 12th International Symposium on Radiation Physics*, Rio de Janeiro (2012).

34. Gomes, R. G. ; Vital, H. C. ; Rebello, W. F. ; Rusin, T. ; Vellozo, S. O. ; Silva.. “MCNPX simulation of gamma ray scattering in the CTEEx research irradiating facility”, *Anais do 12th International Symposium on Radiation Physics*, Rio de Janeiro (2012).

35. Gomes, R. G. ; Vital, H. C. ; Rebello, W. F. ; Rusin, T. ; Vellozo, S. O. ; Silva. . “MCNPX modelling of a low- dose lead assembly in the CTEEx research irradiating facility”. *Anais do 12th International Symposium on Radiation Physics*, Rio de Janeiro (2012).

36. Medeiros, M. P. C..“Simulação do Núcleo do reator Nuclear de Angra 2 Utilizando o Código MCNPX”. *Dissertação de Mestrado IME*, Rio de Janeiro (2012).

37. Medeiros, M. P. C. ; Rebello, W. F. ; Oliveira, C. L. ; Vellozo, S. O. ; Silva, A. X. . “Computer simulation of Angra II PWR nuclear reactor core using MCNPX code” *Anais do International Nuclear Atlantic Conference*, Belo Horizonte (2011).

38. Medeiros, M. P. C. ; Rebello, W. F. ; Oliveira, C. L. ; Vellozo, S. O. ; Silva, A. X. . “Modelagem Computacional e Cálculos de Criticalidade do Núcleo do Reator Nuclear Angra 2 Utilizando o código MCNPX”. *Anais do XIV Encontro de Modelagem Computacional*, 2011, Nova Friburgo (2011).

39. Medeiros, M. P. C. ; Rebello, W. F. ; Vellozo, S. O. ; Silva, P. H. P. ; Silva, A. X. . “Criticality calculations of a low enriched uranium dioxide benchmark experiment using MCNPX and SCALE V”. *Anais do 12th International Symposium on Radiation Physics*, Rio de Janeiro (2012).

40. Santos, R. F. G..”Desenvolvimento de um sistema transportável de irradiação de nêutrons, utilizando o código MCNPX”. *Dissertação de Mestrado Instituto Militar de Engenharia*, Rio de Janeiro (2013).

41. Medeiros, M. P. C. ; Alves, C. F. E. ; Estrada, J. J. S. ; Santos, R. G. ; Rebello, W. F. ; Gomes, R. G. . “Shielding of a room for installation of a calibration service for neutron monitors”. *Anais do International Nuclear Atlantic Conference*, Recife. (2013)

42. Santos, R. G. ; Rebello, W. F. ; Estrada, J. J. S. ; Souza, E. M. ; Silva, A. X. ; Medeiros, M. P. C. . “Cálculo do fluxo de nêutrons de um irradiador com FONTE Am-Be utilizando o Método de Monte Carlo”. *Anais do 15º EMC*, Uberlândia (2012).

43. Santos, R. F. G. ; Rebello, W. F. ; Estrada, J. J. S. ; Souza, E. M. ; Silva, A. X. . Development of a neutron irradiator with Am-Be source using Monte Carlo code. ”. *Anais do 12th International Symposium on Radiation Physics*, Rio de Janeiro (2012).

44. Araujo, L. M.. “Simulação Aperfeiçoada do Ambiente Gama não Perturbado do Irradiador do CTEEx”. *Dissertação de Mestrado IME*, Rio de Janeiro (2014).

45. Oliveira, G. L. C.. “Análise de Distribuição de Taxa de Dose no Interior de Amostras Tratadas no Irradiador De pesquisa do CTEEx”. *Dissertação de Mestrado IME*, Rio de Janeiro (2014).

46. Silva, M. G.. “Comparação, usando simulação em Monte Carlo, da influência das doses devido a nêutrons em pacientes, considerando-se a utilização de uma blindagem adicional de chumbo ou aço adicionada às paredes internas de salas de radioterapia”. *Dissertação de Mestrado Instituto Militar de Engenharia*, Rio de Janeiro (2014).