

Impactos das Tecnologias nas Ciências Biológicas e da Saúde 2

Christiane Trevisan Slivinski
(Organizadora)



Atena
Editora

Ano 2019

Christiane Trevisan Slivinski
(Organizadora)

Impactos das Tecnologias nas Ciências Biológicas e da Saúde 2

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

134 Impactos das tecnologias nas ciências biológicas e da saúde 2
[recurso eletrônico] / Organizadora Christiane Trevisan Slivinski. –
Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das
Tecnologias nas Ciências Biológicas e da Saúde; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-038-4

DOI 10.22533/at.ed.384191601

1. Ciências biológicas. 2. Saúde. 3. Tecnologia. I. Slivinski,
Christiane Trevisan.

CDD 620.8

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de
responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos
autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A tecnologia está ganhando cada dia mais espaço na vida das pessoas e em tudo que as cerca. Compreende-se por tecnologia todo o conhecimento técnico e científico e sua aplicação utilizando ferramentas, processos e materiais que foram criados e podem ser utilizados a partir deste conhecimento. Quando, para o desenvolvimento da tecnologia estão envolvidos sistemas biológicos, seres vivos ou seus metabólitos, passa-se a trabalhar em uma área fundamental da ciência, a Biotecnologia.

Toda produção de conhecimento em Biotecnologia envolve áreas como Biologia, Química, Engenharia, Bioquímica, Biologia Molecular, Engenharia Bioquímica, Química Industrial, entre outras, impactando diretamente no desenvolvimento das Ciências Biológicas e da Saúde. A aplicação dos resultados obtidos nos estudos em Biotecnologia está permitindo um aumento gradativo nos avanços relacionados a qualidade de vida da população, preservação da saúde e bem estar.

Neste ebook é possível identificar vários destes aspectos, onde a produção científica realizada por pesquisadores das grandes academias possuem a proposta de aplicações que podem contribuir para um melhor aproveitamento dos recursos que a natureza nos oferece, bem como encontrar novas soluções para problemas relacionados à manutenção da vida em equilíbrio.

No volume 2 são apresentados artigos relacionados a Bioquímica, Tecnologia em Saúde e as Engenharias. Inicialmente é discutida a produção e ação de biocompostos tais como ácido hialurônico, enzimas fúngicas, asparaginase, lipase, biossurfactantes, xilanase e eritritol. Em seguida são apresentados aspectos relacionados a análise do mobiliário hospitalar, uso de oxigenoterapia hospitalar, engenharia clínica, e novos equipamentos utilizados para diagnóstico. Também são apresentados artigos que trabalham com a tecnologia da informação no desenvolvimento de sistemas e equipamentos para o tratamento dos pacientes.

No volume 3 estão apresentados estudos relacionados a Biologia Molecular envolvendo a leptospirose e diabetes melitus. Também foram investigados alguns impactos da tecnologia no estudo da microcefalia, agregação plaquetária, bem como melhorias no atendimento nas clínicas e farmácias da atenção básica em saúde.

Em seguida discute-se a respeito da utilização de extratos vegetais e fúngicos na farmacologia e preservação do meio ambiente. Finalmente são questionados conceitos envolvendo Educação em Saúde, onde são propostos novos materiais didáticos para o ensino de Bioquímica, Biologia, polinização de plantas, prevenção em saúde e educação continuada.

Christiane Trevisan Slivinski

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ÁCIDO HIALURÔNICO MICROBIANO: PRODUÇÃO E APLICAÇÕES	
Hanny Cristina Braga Pereira Duffeck Nicole Caldas Pan Maria Antonia Pedrine Colabone Celligoi	
DOI 10.22533/at.ed.3841916011	
CAPÍTULO 2	15
AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENZIMAS HIDROLÍTICAS DE FUNGOS ISOLADOS DE <i>EUTERPE PRECATORIA</i> MART.	
Bárbara Nunes Batista Rosiane Rodrigues Matias Ana Milena Gómez Sepúlveda Rafael Lopes e Oliveira Patrícia Melchionna Albuquerque	
DOI 10.22533/at.ed.3841916012	
CAPÍTULO 3	26
DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS IDEAIS DE CULTIVO DE <i>STREPTOMYCES PARVULUS</i> UFPEDA 3408 PARA PRODUÇÃO DA ENZIMA L- ASPARAGINASE	
Glêzia Renata da Silva Lacerda Islan D'Eric Gonçalves da Silva Luiz Eduardo Felix de Albuquerque Wanda Juliana Lopes e Silva Suellen Emilliany Feitosa Machado Silene Carneiro do Nascimento Gláucia Manoella de Souza Lima	
DOI 10.22533/at.ed.3841916013	
CAPÍTULO 4	36
IMOBILIZAÇÃO DE LIPASE DE <i>Botryosphaeria ribis</i> EC-01 EM RESÍDUO TÊXTIL	
Jéssica Borges de Oliveira Rafael Block Samulewski Josana Maria Messias Aline Thaís Bruni Aneli M. Barbosa-Dekker Robert F. H. Dekker Milena Martins Andrade	
DOI 10.22533/at.ed.3841916014	
CAPÍTULO 5	42
IMOBILIZAÇÃO DE LIPASES EM ZEÓLITA A OBTIDAS A PARTIR DA CINZA DE BIOMASSA DA BANANEIRA	
Orlando Baron Eduardo Radovanovic Sílvia Luciana Favaro Murilo Pereira Moisés Nadia Krieger Alessandra Machado Baron	
DOI 10.22533/at.ed.3841916015	

CAPÍTULO 6 48

PRODUÇÃO DE BIOSSURFACTANTES A PARTIR DE FUNGOS ENDOFÍTICOS ISOLADOS DA ESPÉCIE AMAZÔNICA *MYRCIA GUIANENSIS* E SUA TOLERÂNCIA AO ENDOSULFAN

Ana Milena Gómez Sepúlveda
Sergio Duvoisin Junior
Patrícia Melchionna Albuquerque

DOI 10.22533/at.ed.3841916016

CAPÍTULO 7 60

PRODUÇÃO E EXTRAÇÃO DE LIPASES DE *Penicillium corylophilum*

Lucas Marcondes Camargo
Ricardo de Sousa Rodrigues
Michael da Conceição de Castro
Josiane Geraldelo da Silva
Patrícia Salomão Garcia
Milena Martins Andrade
Alessandra Machado Baron

DOI 10.22533/at.ed.3841916017

CAPÍTULO 8 66

SELEÇÃO DE FUNGOS ENDOFÍTICOS ISOLADOS DE *MYRCIA GUIANENSIS* PRODUTORES DE XILANASE

Rosiane Rodrigues Matias
Ana Milena Gómez Sepúlveda
Bárbara Nunes Batista
Juliana Mesquita Vidal Martínez de Lucena
Patrícia Melchionna Albuquerque

DOI 10.22533/at.ed.3841916018

CAPÍTULO 9 75

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO MILHOCINA COMO FONTE DE VITAMINAS E NITROGÊNIO ORGÂNICO NA PRODUÇÃO DE ERITRITOL POR *Yarrowia lipolytica*

Luana Vieira da Silva
Maria Alice Zarur Coelho
Priscilla Filomena Fonseca Amaral
Patrick Fickers

DOI 10.22533/at.ed.3841916019

CAPÍTULO 10 84

ANÁLISE DE MOBILIÁRIO HOSPITALAR COM INCIDÊNCIA EM EVENTOS ADVERSOS

Lígia Reis Nóbrega
Selma Terezinha Milagre

DOI 10.22533/at.ed.38419160110

CAPÍTULO 11 88

ANÁLISE DO PROCESSO TECNOLÓGICO EM SAÚDE NO SERVIÇO DE OXIGENOTERAPIA DOMICILIAR

Bruno Pires Bastos
Renato Garcia Ojeda

DOI 10.22533/at.ed.38419160111

CAPÍTULO 12	98
CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA RECENTE SOBRE A ODONTOLOGIA HOSPITALAR NO BRASIL: UMA REVISÃO INTEGRATIVA	
Wagner Couto Assis Adriano Santos Sousa Oliveira Danilo Lyrio de Oliveira Ismar Eduardo Martins Filho Alba Benemérta Alves Vilela	
DOI 10.22533/at.ed.38419160112	
CAPÍTULO 13	111
CARACTERIZAÇÃO DE PACIENTES COM ÚLCERA DE PÉ DIABÉTICO ATENDIDOS EM HOSPITAIS DA REDE PÚBLICA DE SÃO LUÍS MARANHÃO	
Kezia Cristina Batista dos Santos Tamires Barradas Cavalcante Patrícia Amorim Danda Gabriela Sellen Campos Ribeiro Adrielly Haiany Coimbra Feitosa	
DOI 10.22533/at.ed.38419160113	
CAPÍTULO 14	123
APLICAÇÃO DE RTOS NA CRIAÇÃO DE DISPOSITIVO ELETROMÉDICO PARA AVALIAÇÃO DO BLOQUEIO NEUROMUSCULAR INTRAOPERATÓRIO	
Matheus Leitzke Pinto Gustavo Ott Mauricio Campelo Tavares	
DOI 10.22533/at.ed.38419160114	
CAPÍTULO 15	138
ATUAÇÃO DO SETOR DE ENGENHARIA CLÍNICA: UM ESTUDO DE CASO NO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO ONOFRE LOPES	
Camila Beatriz Souza de Medeiros Taline dos Santos Nóbrega Beatriz Stransky	
DOI 10.22533/at.ed.38419160115	
CAPÍTULO 16	147
AUTOMAÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA UMA CADEIRA DE RODAS	
Samuel Roberto Marcondes Aline Camile Stelf	
DOI 10.22533/at.ed.38419160116	
CAPÍTULO 17	154
CLASSIFICAÇÃO DE EEG COM REDES NEURAS ARTIFICIAIS UTILIZANDO ALGORITMOS DE TREINAMENTO DO TIPO <i>EXTREME LEARNING MACHINE E BACK-PROPAGATION</i>	
Tatiana Saldanha Tavares Francisco Assis de Oliveira Nascimento Cristiano Jacques Miosso	
DOI 10.22533/at.ed.38419160117	

CAPÍTULO 18	163
DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA WEB PARA GESTÃO DE EQUIPAMENTOS MÉDICO-HOSPITALARES	
Antonio Domingues Neto José Felício da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.38419160118	
CAPÍTULO 19	172
DETECÇÃO DE ACIDENTE VASCULAR CEREBRAL ISQUÊMICO AGUDO/SUBAGUDO BASEADA NA POSIÇÃO VENTRICULAR	
Cecília Burle de Aguiar Walisson da Silva Soares Severino Aires Araújo Neto Carlos Danilo Miranda Regis	
DOI 10.22533/at.ed.38419160119	
CAPÍTULO 20	185
DETECÇÃO DE MELANOMA UTILIZANDO DESCRITORES DE HARALICK	
Marília Gabriela Alves Rodrigues Santos Marina de Oliveira Alencar Walisson da Silva Soares Cecília Burle Aguiar Carlos Danilo Miranda Regis	
DOI 10.22533/at.ed.38419160120	
CAPÍTULO 21	194
HUMAN KNEE SIMULATION USING MULTILAYER PERCEPTRON ARTIFICIAL NEURAL NETWORK	
Ithallo Junior Alves Guimarães Roberto Aguiar Lima Vera Regina Fernandes da Silva Marães Lourdes Mattos Brasil	
DOI 10.22533/at.ed.38419160121	
CAPÍTULO 22	201
INFLUÊNCIA DO FILTRO DE <i>WIENER</i> NO REALCE DE CONTRASTE DE IMAGENS MAMOGRÁFICAS USANDO FUNÇÃO SIGMOID	
Michele Fúlvia Angelo Thalita Villaron Lima Talita Conte Granado Ana Claudia Patrocínio	
DOI 10.22533/at.ed.38419160122	
CAPÍTULO 23	212
MODELAGEM E IMPLEMENTAÇÃO DE BANCO DE DADOS PARA O GERENCIAMENTO DE PROPOSTAS EM INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM SAÚDE	
Lígia Reis Nóbrega Adriano de Oliveira Andrade Selma Terezinha Milagre	
DOI 10.22533/at.ed.38419160123	

CAPÍTULO 24 219

DETECÇÃO DE RESPOSTAS AUDITIVAS EM REGIME PERMANENTE USANDO COERÊNCIA MÚLTIPLA: OBTENÇÃO DE CONJUNTO ÓTIMO DE ELETRODOS PARA APLICAÇÃO ONLINE

Felipe Antunes
Glaucia de Moraes Silva
Brenda Ferreira da Silva Eloi
Leonardo Bonato Felix

DOI 10.22533/at.ed.38419160124

CAPÍTULO 25 227

PRÓTESE DE MEMBRO INFERIOR EM FIBRA DE CARBONO PARA USO COTIDIANO E LEVES EXERCÍCIOS

César Nunes Giracca
Tiago Moreno Volkmer

DOI 10.22533/at.ed.38419160125

CAPÍTULO 26 238

RECONSTRUÇÃO DE IMAGEM DE TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA POR FEIXE DE PRÓTONS, UTILIZANDO A TRANSFORMADA INVERSA DE RADON, BASEADA EM IMAGENS GERADAS POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Fabrcio Loreni da Silva Cerutti
Gabriela Hoff
Marcelo Victor Wüst Zibetti
Hugo Reuters Schelin
Valeriy Viktorovich Denyak
Sergei Anatolyevich Paschuk
Ivan Evseev
Leonardo Zanin
Ediney Milhoretto

DOI 10.22533/at.ed.38419160126

CAPÍTULO 27 246

REVITALIZAÇÃO DE PROCESSADORAS AUTOMÁTICAS KODAK M35 X-OMAT PROX PROCESSOR

Fabricio Loreni da Silva Cerutti
Jesiel Ricardo dos Reis
Oseas Santos Junior
Juliana do Carmo Badelli
Andressa Caron Brey
Jorge Luis Correia da Silva
Marcelo Zibetti

DOI 10.22533/at.ed.38419160127

CAPÍTULO 28 253

SIMULADOR MATERNO FETAL

Rodrigo Lopes Rezer
Marcelo Antunes Marciano
Anderson Alves dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.38419160128

CAPÍTULO 29 262

UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS (CAE) NA OTIMIZAÇÃO DE PRÓTESES DE MÃO.

Francisco Gilfran Alves Milfont

Luiz Arturo Gómez Malagón

DOI 10.22533/at.ed.38419160129

SOBRE A ORGANIZADORA..... 271

RECONSTRUÇÃO DE IMAGEM DE TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA POR FEIXE DE PRÓTONS, UTILIZANDO A TRANSFORMADA INVERSA DE RADON, BASEADA EM IMAGENS GERADAS POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Fabício Loreni da Silva Cerutti

e-mail: Fabricioloreni@gmail.com

CPGEI/UTFPR, Curitiba, Brasil

Gabriela Hoff

CPGEI/UTFPR, Curitiba, Brasil

Marcelo Victor Wüst Zibetti

CPGEI/UTFPR, Curitiba, Brasil

Hugo Reuters Schelin

IPPPP, Curitiba, Brasil

Valeriy Viktorovich Denyak

IPPPP, Curitiba, Brasil

Sergei Anatolyevich Paschuk

CPGEI/UTFPR, Curitiba, Brasil

Ivan Evseev

CPGEI/UTFPR, Curitiba, Brasil

Leonardo Zanin

CPGEI/UTFPR, Curitiba, Brasil

Ediney Milhoretto

CPGEI/UTFPR, Curitiba, Brasil

RESUMO: O presente trabalho teve como objetivo construir uma aplicação em Geant4 que simule uma Tomografia Computadorizada por Feixe de Prótons (pCT), com o mesmo design do protótipo de pCT do *Loma Linda University Medical Center* (LLMC) e realizar a reconstrução de imagem a partir dos dados simulados. Para isso, foi construído um conjunto de classes no Geant4 9.06.p03 contendo as especificações

do feixe de prótons, dos detectores, do *phantom* e do calorímetro. O espectro dos prótons incidentes foi definido como monoenergético, com energia cinética inicial de 200MeV e em *Pencil Beam*, de forma a cobrir toda a área do corte do objeto a ser imageado, sendo o comprimento da linha de irradiação de 230mm. Foram construídos quatro detectores, dois foram posicionados na saída do feixe e dois atrás do *phantom*. O *phantom* é composto por um paralelepípedo de água com dois objetos de contraste (osso compacto) em seu interior com geometrias distintas. A aplicação desenvolvida no Geant4 foi definida de forma a gerar um arquivo de saída para cada um dos 4 detectores e um outro arquivo de saída para o calorímetro. O arquivo de saída dos detectores possui a identificação dos 20.000 prótons e a posição que cada próton passou nas coordenadas x, y e z do dado detector, para cada ângulo de incidência estudado. Por fim, foi realizada a reconstrução da imagem do *phantom* simulado utilizando a Transformada Inversa de Radon do MatLab.

PALAVRAS-CHAVE: Geant4, Simulação, pCT, Reconstrução de Imagem, Transformada Inversa de Radon.

ABSTRACT: The present study had the objective to build a application that simulates an pCT Geant4 with the same pCT prototype

design Loma Linda University Medical Center (LLMC) and perform the reconstruction image from the simulated data. A set of codes was constructed in the Geant4 9.06.p03, including the specifications of the proton beam, the detectors, phantom and the calorimeter. The spectrum of incident protons was defined as monoenergetic with initial kinetic energy 200MeV and in pencil beam to cover the entire sectional area of the object to be imaged, with a 230mm irradiation line. Four detectors were built, two were positioned in the beam output and two were behind the phantom. The phantom consists of water parallelepiped with two contrasting objects (compact bone) inside, with different geometries. The Geant4 was programmed to generate an output file for each of the four detectors and another output file to the calorimeter. The output file of the detectors has the identification of 20,000 protons and the position each proton passed at coordinates x, y and z of the detector for each angle of incidence studied. Finally, the reconstruction of the image of the simulated phantom was performed using the Inverse Radon Transform in MatLab.

KEYWORDS: Geant4, Simulate, pCT, Reconstruction Image, Inverse Radon Transform.

INTRODUÇÃO

Em inúmeros centros de pesquisas são estudados meios para melhorar o tratamento e o prognóstico dos pacientes com câncer. O foco principal das pesquisas e do desenvolvimento das técnicas terapêuticas que utilizam radiação são a erradicação de células tumorais e a minimização da irradiação das células e tecidos saudáveis. O cenário ideal seria tratar o alvo desejado sem danificar qualquer estrutura saudável. Isso, no entanto, ainda é um desafio para a ciência. E existem incertezas na definição do volume alvo e incertezas no processo de definição da dose terapêutica. Além disso, a aplicação de terapias que utilizam radiação com feixe externo requer que o feixe penetre por tecido saudável até atingir o alvo. O planejamento dos tratamentos que utilizam radiação é fundamentado em formalismos matemáticos e físicos para entregar a dose desejada no alvo e limitar a dose a tecidos normais. Isso é particularmente importante em tecidos saudáveis radiosensíveis, que não devem ser irradiados, chamados de estruturas críticas [1].

Um ganho significativo na razão terapêutica pode ser alcançado através do uso da terapia por prótons ao invés da radioterapia convencional, de fótons [2]. O ganho terapêutico se deve a diferenças físicas que ocorrem na interação dos fótons e dos prótons com a matéria. A diferença mais importante entre feixes de fótons e feixes de prótons é o intervalo finito de um feixe de prótons [3]. Sendo possível direcionar o feixe de prótons apenas para a área de interesse ou muito próximo de uma estrutura crítica devido as características de deposição de energia deste tipo de feixe.

A profundidade que ocorre a deposição máxima de energia (*Pico de Bragg*) pode ser ajustada alterando a energia do feixe. Fazendo com que seja possível posicionar a máxima deposição de energia dentro do alvo para cada direção do feixe. Apesar

dos prótons partirem de uma única direção, o feixe é capaz de entregar uma dose homogênea ao longo do alvo, através da variação da energia do feixe [4].

Para localizar e identificar a região tumoral a ser irradiada pelo feixe de prótons, o paciente é submetido a exames de Tomografia Computadorizada (CT) e ressonância magnética nuclear [5]. As imagens adquiridas por esses exames servem de base para o planejamento da terapia por prótons. No intuito de aumentar a eficiência do tratamento por prótons, surgiu a ideia de construir um equipamento de tomografia computadorizada que utilize feixes de prótons (pCT). A grande motivação em se construir um pCT é unir no mesmo equipamento de terapia por prótons a capacidade de gerar imagens tomográficas utilizando o mesmo feixe. O resultado da união desses dois equipamentos é obter dados para o planejamento da terapia e posicionamento do tumor de forma simultânea, aumentando a precisão e rapidez do exame [6, 7, 8].

Com a pCT é possível reconstruir corretamente o mapa de densidade eletrônica fazendo uso do próprio feixe da terapia por prótons. Ao medir a perda de energia dos prótons de alta energia que atravessam o paciente, e repetindo a aquisição através de vários ângulos de incidência, é possível reconstruir a distribuição da densidade eletrônica dos tecidos irradiados de uma forma mais precisa e segura comparada com a densidade eletrônica relativa utilizada atualmente [9].

O atual desafio da pCT é diminuir o tempo de aquisição e aumentar a resolução espacial, uma vez que a resolução espacial obtida na Tomografia Computadorizada por Raios X ainda é maior. O primeiro centro dedicado exclusivamente no tratamento por prótons e pioneiro no desenvolvimento da pCT é o Centro Médico da Universidade de Loma Linda (*Loma Linda University Medical Center - LLUMC*), que conta com um protótipo de pCT com capacidade para trabalhar com valores de energia de até 250 MeV. O LLUMC está investido esforços para melhorar os detectores de feixes de alta energia e se concentrando na elaboração de novos algoritmos específicos de reconstrução de imagens para solucionar os problemas encontrados na obtenção de imagens clínicas [10].

Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma aplicação que simule um sistema de pCT com as mesmas características do protótipo de LLUMC, e realizar a reconstrução de imagem de pCT usando a Transformada Inversa de Radon [11].

MATERIAIS E MÉTODOS

A ferramenta computacional escolhida para desenvolver a simulação de uma pCT e um objeto de prova foi o Geant4 (*Geometry and Track*). A pCT desenvolvida em Geant4 seguiu o mesmo design do protótipo de LLUMC.

Os dados da simulação são provenientes de um feixe monoenergético, com energia cinética inicial de 200MeV, e em *Pencil Beam*, de forma a cobrir toda a área do corte do objeto a ser imageado. Sendo o comprimento da linha de irradiação de 230mm.

O número de prótons simulados foi de 20.000 prótons ou 20.000 eventos. Na simulação o feixe incidiu de 0° a 360° , em passo de 2° ao redor do *phantom*.

O *phantom*, ou objeto de prova simulado, foi um paralelepípedo contendo em seu interior dois objetos de contraste, com dimensões, densidade e geometrias variadas. Sendo o *phantom* composto por um paralelepípedo, com dimensões 14,0cm x 14,0cm x 50,0cm constituído de água. Mais dois objetos de contraste, constituídos de osso compacto. Um com geometria cilíndrica e com raio de 5,0mm e comprimento 50,0cm e o outro objeto de contraste sendo um paralelepípedo de dimensões 20,0mm x 20,0mm x 50,0cm. Estas configurações podem ser vistas na Figura 1.

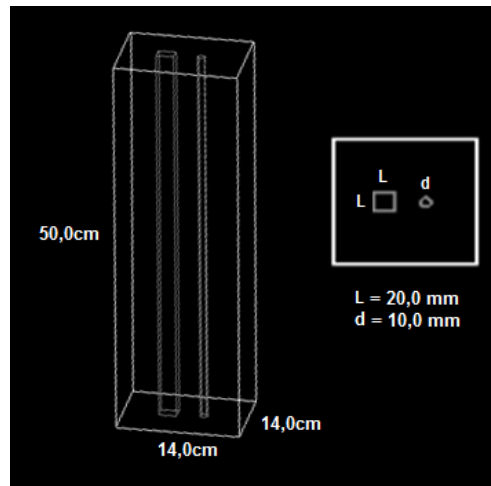


Figura 1: *Phantom* virtual. Na esquerda vista paralela com dimensões do paralelepípedo externo e na direita vista superior do *phantom* com dimensões dos objetos de contraste (d=diâmetro, L=lado).

Os detectores desenvolvidos são ideais, ou seja, com 100% de eficiência e foram posicionados anteriormente e posteriormente ao *phantom*.

Os detectores servirão para registra a posição tridimensional (nos eixos x, y, z) e a energia (MeV) de cada próton ao passar pelo detector. A posição registrada nos detectores foi utilizada para traçar a trajetória mais provável que o próton teve ao interagir com o *phantom*. Por fim, temos um calorímetro para registrar a energia residual dos prótons. O calorímetro também é ideal, com 100% de eficiência.

Após o registro da posição dos prótons em cada um dos detectores, foi realizado um levantamento da trajetória média dos prótons. Os prótons com um desvio na trajetória acima da média foram desconsiderados. Eliminando assim os prótons que não contribuem para a reconstrução da imagem.

Para descrever o transporte de radiação pela matéria no Geant4, foi utilizada a recomendação para transporte de prótons na área da terapia, QGSP_BIC_EMY, descrita no exemplo avançado do Geant4, hadrontherapy, usando como critérios de corte para geração de partículas secundárias 0,01mm para prótons, 0,10mm para elétrons e 1,0mm para fótons. Nesta simulação foram consideradas para transporte as partículas primárias e todas as partículas secundárias geradas. Sendo o registro limitado somente à partícula próton.

Aplicação contém classes definidas pelo usuário que invocam as classes internas da ferramenta Geant4. Estrutura da base consiste em código para: 1) Administrar as informações para geração do universo virtual (*classe DetectorConstruction*); 2) Determinar a emissão dos prótons incidentes (*classe PrimaryGenerationAction*); 3) Definir os processos e modelos de transporte, bem como, as características de geração de partículas secundárias (*classe PhysicsList*); 4) Definir os contadores e sistemas de registro da informação de interesse (*classes SteppingAction e RunAction*). O código apresentou também os “*messengers*” que são classes de comunicação do usuário com o código com a finalidade de evitar sucessivas compilações quando realizadas alterações no código fonte. Esse tipo de gerenciamento de dados permite a rastreabilidade da sequência de dados de entrada a cada execução, reduzindo problemas com alterações no código fonte e no tempo de execução final. Foram utilizados “*messengers*” na descrição do universo virtual, na seleção de modelos e processos de transporte, bem como na descrição da partícula primária (descrição da energia da fonte emissora).

A aplicação desenvolvida no Geant4 foi preparada para registrar as coordenadas x, y e z que cada um dos 20.000 prótons teve ao passar pelos detectores e pelo calorímetro para cada uma das 180 incidências. Assim como a energia cinética dos prótons ao atingir o calorímetro.

Após o registro da posição dos prótons em cada um dos detectores, foi realizado um levantamento da trajetória média dos prótons nos quatro detectores. Os prótons com um desvio na trajetória acima da média encontrada foram desconsiderados. Eliminando assim os prótons que não contribuí para a reconstrução da imagem, devido ao acentuado desvio da sua trajetória ao interagir com o *phantom*.

Para avaliar os dados simulados em Geant4 e realizar a reconstrução da imagem do *phantom* construído em Geant4 foi utilizado a Transformada Inversa de Radon.

RESULTADOS

Foram construídos no Geant4 9.06.p03 um conjunto de classes contendo as especificações do feixe de prótons, dos detectores, do *phantom* e do calorímetro. Toda essa estrutura do pCT e do *phantom* com os dois objetos de contraste em seu interior (com bordas delimitadas em cinza) pode ser observada na parte superior da Figura 2. O mundo (parte preta, exceto região interna do *phantom* e do calorímetro) e os quatro detectores (com bordas em amarelo) são compostos por vácuo galáctico. Essa escolha foi realizada para desconsiderar qualquer interação do feixe com o universo ou com os detectores. Na parte inferior da Figura 2 é possível observar os dados de saída da simulação, associados aos respectivos detectores e ao calorímetro.

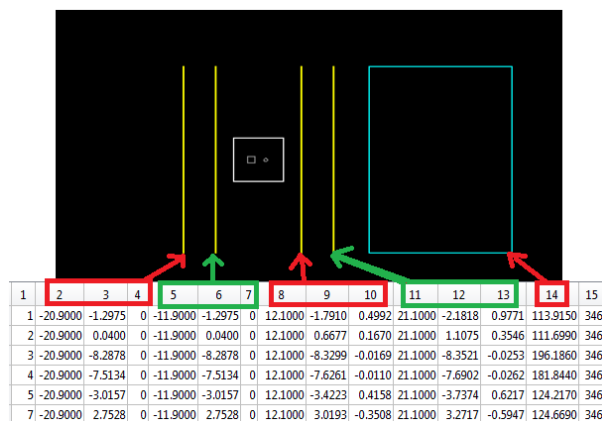


Figura 2: Vista superior do mundo simulado e a representação do conjunto de dados de saída. A coluna 1 a identificação dos prótons. As colunas 2 até 13 correspondem as coordenadas (x, y, z) em que o prótons passaram pelos 4 detectores. Coluna 14 é a energia residual dos prótons e a coluna 15 o ângulo de incidência.

De posse dos dados da simulados em Geant4, foi possível construí o sinograma, fazendo uso do MatLab. Sendo que o sinograma foi gerado agrupando, para cada ângulo, os prótons que seguiram um caminho aproximadamente linear ao passar nos quatro detectores, semelhante ao feixe de Raios x paralelo da Tomografia Computadorizada. Desta forma, prótons que seguiram o mesmo caminho, deveriam entregar aproximadamente a mesma energia no colorímetro. Logo, o valor da energia entregue por um feixe que seguiu por dado ângulo e deslocamento do centro, foi calculado através da mediana da energia entregue pelos prótons que seguiram o mesmo caminho do feixe. Em seguida foi realizado a reconstrução da imagem utilizado o método da Transformada Inversa de Radon presente no MatLab. A imagem (1024x1024 pixels) gerada pode ser observada na Figura 3.

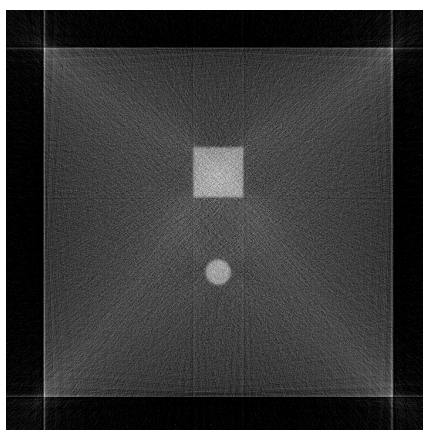


Figura 3: Imagem do *phantom* (1024 x 1024 pixels) reconstruída pela Transformada Inversa de Radon.

Na Figura 3 é possível visualizar nitidamente o paralelepípedo de maior dimensão (14,0cm x 14,0cm x 50,0cm), que tem como composição água, e os outros dois objetos de contraste. Constituídos de osso compacto. Sendo que um tem geometria cilíndrica (raio de 5,0mm e comprimento 50,0cm), o outro é um paralelepípedo (20,0mm x 20,0mm x 50,0cm).

DISCUSSÃO

Na Figura 1 temos a imagem do *phantom* desenvolvido e gerado no Geant4 e na Figura 3 temos a imagem reconstruída do *phantom* através da transformada Inversa de Radon. Comparando as duas imagens, fica evidente, que o conjunto de dados reconstruídos, utilizando a Transformada Inversa de Radon, condiz com o *phantom* desenvolvido no Geant4, tendo as mesmas dimensões descritas em Materiais e Métodos.

O motivo pelo qual o presente trabalho escolheu desenvolver uma aplicação que simule uma pCT nos moldes do protótipo de LLMC se deve a necessidade dos autores de adquirir dados de uma pCT ideal. Com intuito de desenvolver e testar, em trabalhos futuros, métodos de reconstrução de imagem que sejam satisfatórios ao designe do protótipo de pCT de LLMC e compatíveis com o tempo de processamento e resolução desejáveis para imagens clínicas.

Em trabalhos anteriores, de Penfold e colaboradores [10], foi desenvolvido uma aplicação em Geant4 com as mesmas características do protótipo de pCT de LLMC. No entanto, o *phantom* desenvolvido pelos pesquisadores era no formato circular o que diminui a capacidade de se estudar o Efeito de Borda. Efeito esse inerente da interação nuclear dos prótons com a matéria. A utilização de *phantoms* circulares também facilita a reconstrução de imagens, pois não apresenta vértice. Por estes motivos acreditamos que o presente trabalho, por possui um *phantom* com inúmeros vértices e, ainda, um objeto de contraste circular, possui mais elementos de testes e análises de novos métodos de reconstrução de imagem.

CONCLUSÃO

O conjunto de classes, desenvolvidos por este trabalho, se mostrou uma excelente alternativa para aquisição de dados de uma pCT ideal e com energia de feixe de prótons suficiente para aquisição de imagens médicas. Os dados adquiridos também servirão para testar e implementar outros métodos de reconstrução de imagem de acordo com o designe do protótipo de pCT de LLMC. Tendo com um propósito final, a buscar por um método que torne a pCT viável para o planejamento da terapia por prótons.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem a CAPES, CNPq e a UTFPR pelo apoio e financiamento.

REFERÊNCIAS

PAGANETT, H.; Proton Therapy Physics - Health Physics, 2012.

WILSON, R. R.; Radiological use of fast protons. *Radiology*, v. 47, n. 5, p. 487–91, nov. 1946.

KHAN, F. M.; *Brachytherapy: The Physics of Radiation Therapy*. 2nd ed. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 1994.

CHEN, G. T. Y.; SINGH, R. P.; Treatment Planning for Heavy Ion Therapy, *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, Vol. 5.

Schulte, R.; Bashkirov, V.; Li, T., Liang, Z. Mueller, K.; Conceptual Design of a Proton Computed Tomography System for Applications in Proton Radiation Therapy, *IEEE Trans. Nuclear Science*, 2004.

SCHULTE, R.; Strategies for Image-guided Proton Therapy of Cancer. *Touch Briefings*, 2007. Disponível em: <http://www.touchbriefings.com/pdf/2812/Schulte.pdf> Acesso em: 20/01/2016.

WANG, D.; MACKIE, T. R.; On Proton CT Reconstruction Using MVCTconverted Virtual Proton Projections. *Medical physics*, v. 39, n. 6, p. 2997 –3008, 2012, ISSN 0094-2405.

SCHAFFNER, B.; PEDRONI, E.; The precision of proton range calculations in proton radiotherapy treatment planning: experimental verification of the relation between CT-HU and proton stopping power, *Phys. Med. Biol.* 43, 1998.

SIPALA, A. Proton Computed Tomography System for Medical Applications, 2013.

PENFOLD, S. N.; SCHULTE, R. W.; “Total variation superiorization schemes in proton computed tomography image reconstruction”, *Medical Physics*, 37, 5887–5895, 2010.

RADON, J., PARKS, P. C.; “On the determination of functions from their integral values along certain manifolds”, *IEEE Trans Med Imaging*, 1986;5(4):170-6, DOI: 10.1109/TMI.1986.4307775.

SOBRE A ORGANIZADORA

CHRISTIANE TREVISAN SLIVINSKI Possui Graduação em Licenciatura em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (2000), Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (2007) e Doutorado em Ciências - Bioquímica pela Universidade Federal do Paraná (2012). Tem experiência na área de Bioquímica, com ênfase em Biotecnologia, atuando principalmente nos seguintes temas: inibição enzimática; fermentação em estado sólido; produção, caracterização bioquímica e purificação de proteínas (enzimas); e uso de resíduo agroindustrial para produção de biomoléculas (biossurfactantes). É professora na Universidade Estadual de Ponta Grossa nas disciplinas de Bioquímica e Química Geral desde 2006, lecionando para os cursos de Bacharelado e Licenciatura em Ciências Biológicas, Farmácia, Educação Física, Enfermagem, Odontologia, Química, Zootecnia, Agronomia, Engenharia de Alimentos. Também leciona no Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais – CESCAGE desde 2012 para os cursos de Fisioterapia, Odontologia, Farmácia, Nutrição, Enfermagem e Agronomia, nas disciplinas de Bioquímica, Fisiologia, Biomorfologia, Genética, Metodologia Científica, Microbiologia de Alimentos, Nutrição Normal, Trabalho de Conclusão de Curso e Tecnologia de Produtos Agropecuários. Leciona nas Faculdades UNOPAR desde 2015 para o curso de Enfermagem nas disciplinas de Ciências Celulares e Moleculares, Microbiologia e Imunologia.

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-7247-038-4



9 788572 470384