

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta
será disponibilizado somente a partir
de 28/02/2022.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

TAIANA SHE MIR MUI

**Desenvolvimento e aplicação de jato de plasma frio em pressão
atmosférica para o tratamento de materiais e sementes**

Guaratinguetá

2020



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

Taiana She Mir Mui

**Desenvolvimento e aplicação de jato de plasma frio em pressão
atmosférica para o tratamento de materiais e sementes**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia do
Campus de Guaratinguetá, Universidade
Estadual Paulista, para obtenção do título de
Doutora em Engenharia Mecânica na área de
Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Pinto Mota

Coorientador: Prof. Dr. Konstantin G. Kostov

Guaratinguetá

2020

M953	Mui, Taiana She Mir Desenvolvimento e aplicação de jato de plasma frio em pressão atmosférica para o tratamento de materiais e sementes / Taiana She Mir Mui – Guaratinguetá, 2020. 93 f. : il. Bibliografia: f. 83-91 Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2020. Orientador: Prof. Dr. Rogério Pinto Mota Coorientador: Prof. Dr. Konstantin G. Kostov 1. Jato de plasma. 2. Polímeros. 3. Plasma (Gases ionizados) 4. Tecnologia de Sementes. 5. Germinação. I. Título

CDU 533.9(043)

Luciana Máximo

Bibliotecária-CRB-8/3595



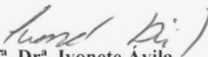
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

TAIANA SHE MIR MUI

ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA”

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO: DOUTORADO

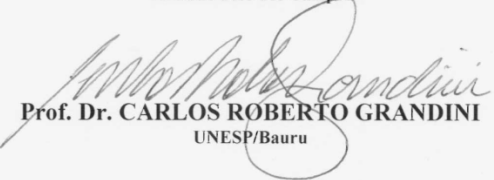
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr.ª Ivonete Ávila
Coordenadora

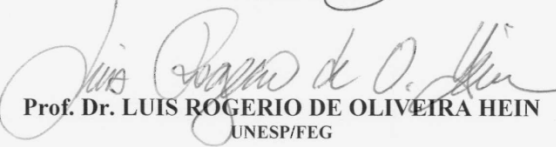
BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. ROGERIO PINTO MOTA
Orientador / UNESP/FEG


Prof. Dr. RODRIGO SAVIO PESSOA
ITA/São José dos Campos


Prof. Dr. CARLOS ROBERTO GRANDINI
UNESP/Bauru


Prof. Dr. NILSON CRISTINO DA CRUZ
UNESP/Sorocaba


Prof. Dr. LUIS ROGERIO DE OLIVEIRA HEIN
UNESP/FEG

Fevereiro de 2020

DADOS CURRICULARES

TAIANA SHE MIR MUI

NASCIMENTO	25.01.1990 - CAÇAPAVA / SP
FILIAÇÃO	Mui Yuet Fu Mang Mui Fong
2018/2018	Doutorado sanduíche no <i>Leibniz Institute for Plasma Science and Technology (INP Greifswald)</i> , no departamento de Plasma na Agricultura por 6 meses, na Alemanha.
2014/2016	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Mestrado, na Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista.
2012/2014	Curso de Pós-Graduação em Engenharia da Qualidade, nível de Especialização, na Escola de Engenharia no Campus de Lorena da Universidade de São Paulo.
2008/2010	Curso de Graduação. Tecnologia em Metalurgia - FATEC. Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba.
2008/2009	Curso Técnico. Técnico em Mecatrônica. Escola Senai Félix Guisard - Taubaté.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais pelo apoio e incentivo nesta etapa de minha vida.

Em especial, ao meu orientador Prof. Dr. Rogério Pinto Mota e coorientador, Prof. Dr. Konstantin Georgiev Kostov pelo constante apoio (técnico e emocional), incentivo, correções, compreensão e paciência nestes quatro anos de caminhada juntos.

Ao Dr. Hélio Minoru, diretor do Polo Regional Vale do Paraíba (Pindamonhangaba) da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) pela doação das sementes de girassol, sem as sementes este trabalho não seria possível.

À Prof. Dra. Tatiane da Franca Silva pela ajuda e suporte na área biológica, principalmente por abrir as portas de seu laboratório para uma completa leiga no assunto. E minhas sinceras desculpas, por não ter retornado mais para EEL-USP, muitas coisas ocorreram pelo caminho desde então.

Ao Prof. Dr. Roberto Zenhei Nakazato pelo suporte técnico na confecção dos jatos e pela constante assistência e incentivo.

Ao Prof. Dr. Luis Rogerio de Oliveira Hein pelas conversas de apoio e encorajamento e também pelas análises de Microscopia de Força Atômica.

Ao Prof. Dr. Fernando Luiz de Campos Carvalho pelas análises de Microscopia Eletrônica de Varredura no Instituto de Estudos Avançados do Mar (IEAMar/UNESP).

Ao Técnico José Benedito Galhardo pelo suporte técnico na construção de peças e acessórios dos jatos.

Ao Dr. Fellype do Nascimento pelas constantes indicações e sugestões de artigos, troca de ideias e apoio técnico.

Ao grupo de Plasma e Aplicações da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá (FEG-UNESP).

Aos colegas e amigos de laboratório, em especial: Pedro, Felipe e Thalita pelo apoio, assistência, amizade nesses tempos difíceis e obscuros, por partilhar experiências, pelas conversas e vivência na Alemanha.

Aos professores e funcionários da pós-graduação pela troca de informações, experiências e incentivo.

Ao Programa de Doutorado-Sanduiche no Exterior (PDSE) número do processo: 88881.188597/2018-01.

A todos que contribuíram direta e indiretamente para a realização deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-Brasil (CAPES) - código de financiamento 001.

The tiny seed knew that in order to grow, it needed to be dropped in dirt, covered in darkness and struggle to reach the light. Therefore, never underestimate the power of a planted seed.

Sandra Kring

RESUMO

Esta tese teve como o intuito o estudo e caracterização de jatos de plasma com diferentes diâmetros no tratamento do polímero Politereftalato de Etileno (PET), visando estudar a uniformidade e a área de alcance dos tratamentos. Posteriormente, um desses jatos foi utilizado para o tratamento de sementes de girassol, com o objetivo de investigar as modificações superficiais, físico-químicas e o comportamento biológico das sementes após os tratamentos a plasma, buscando compreender os mecanismos de interação do plasma com as sementes. A caracterização superficial do PET foi realizada através de medições de ângulo de contato, rugosidade e análise das mudanças químicas com a Espectroscopia de Fotoelétrons Excitados por Raios X (XPS). Enquanto que, as caracterizações realizadas nas sementes foram medidas de ângulo de contato, absorção de água e corante, perda de massa, Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier por Refletância Total Atenuada (FTIR-ATR) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Para avaliação da parte biológica foram realizados ensaios de taxa de germinação e de taxa de crescimento. Os tratamentos no PET com os três jatos de plasma utilizados demonstraram uma diminuição considerável nos valores de ângulo de contato e a área de tratamento alcançada por cada jato foi devidamente calculada. Através do aumento dos valores da rugosidade foi possível verificar que o tratamento a plasma estendeu-se para fora do cone do jato. Houve também incorporação de grupos funcionais de O, incremento de pequenas quantidades de N e remoção de contaminantes nas amostras de PET tratadas a plasma. Após tratamentos a plasma em sementes de girassol foi observado um aumento da molhabilidade e absorção de água, perda de massa relevante, mudança de grupos químicos e alterações topográficas na superfície das sementes. Além disso, foi constatada uma diferença na taxa de germinação em placas de petri e na germinação em substrato, e um aumento significativo no comprimento aéreo de mudas de girassol, cujas sementes foram tratadas a plasma. Com base no exposto, o jato de plasma cônico utilizado nesta tese foi capaz de modificar a germinação, crescimento e desenvolvimento das sementes de girassol. Tal efeito foi obtido possivelmente devido ao aumento da absorção de água e molhabilidade das sementes, o que provavelmente facilitou a permeabilidade de nutrientes e na ativação de diversas reações fisiológicas. Nos resultados do tratamento do PET pode-se inferir que modificando a geometria do bocal do jato de plasma é possível modificar a área de tratamento uniforme até algumas dezenas de cm^2 em condições de operação viável.

PALAVRAS-CHAVE: Jato de plasma. PET. Sementes de girassol. Plasma na agricultura.

ABSTRACT

The purpose of this thesis was to study and characterize plasma jets with different diameters in the treatment of polyethylene terephthalate (PET) in order to study the treatment range and uniformity. Subsequently, one of these jets was used for the treatment of sunflower seeds, with the objective to investigate the seeds surface, physicochemical changes and the biological behavior of the seeds after the plasma treatments, seeking to understand the mechanisms of the interaction of the plasma with the seeds. The superficial characterization of the PET was performed through measurements of water contact angle, roughness and analysis of chemical changes with X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS). While, the characterizations performed on sunflower seeds were water contact angle, water and dye absorption, mass loss, Fourier Transform Infrared Spectroscopy by Total Attenuated Reflectance (FTIR-ATR) and Scanning Electronic Microscopy (SEM). For the biological evaluation germination rate and growth rate tests were performed. The treatments on PET with the three plasma jets showed a considerable decrease in water contact angle values and the treatment area obtained by each jet was calculated. By increased roughness values it was possible to verify that the plasma treatment extended outside the cone of the jet. There was also incorporation of functional groups of O, increase of small amounts of N and removal of contaminants in the plasma treated PET samples confirmed by the XPS analysis. After plasma treatments on sunflower seeds an increase in wettability, substantial water absorption, relevant mass loss, changes of the chemical groups and topography of the seed surface were observed. Furthermore, a difference in the germination rate in Petri dishes and germination in the substrate was observed. A significant increase in the shoot length of the sunflower seedlings was perceived. Based on the results, the conical plasma jet employed in this thesis was able to modify the germination, growth and development of the sunflower seeds. This effect was possibly obtained due to increased water absorption and wetting of the seeds, which probably promoted nutrient permeability and the activation of various physiological reactions. In the PET treatments results it can be inferred that by modifying the geometry of the plasma jet nozzle it was possible to extend the uniform treatment area up to a few decades of cm² under viable operating conditions.

KEYWORDS: Plasma jet. PET. Sunflower seeds. Plasma agriculture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ilustração esquemática dos quatro estados fundamentais da matéria.	21
Figura 2. Tipos de plasma por sua temperatura e densidade eletrônica.	22
Figura 3. Esquema de (a) jato com eletrodo sem dielétrico (b) jato com descarga por barreira dielétrica (c) jatos do tipo DBD (d) jato de eletrodo simples.	26
Figura 4. Interações básicas do plasma com a superfície dos materiais.	28
Figura 5. Unidade fundamental do PET.	29
Figura 6. O ciclo de vida do girassol.	39
Figura 7. Fluxograma dos trabalhos desenvolvidos com o jato de plasma.	43
Figura 8. Montagem experimental do jato de plasma.	44
Figura 9. Dimensões (a) jato pequeno (b) jato médio e (c) jato grande.	45
Figura 10. Fotos dos jatos de plasma em operação (a) jato pequeno (b) jato médio e (c) jato grande.	45
Figura 11. Estufa de germinação no Laboratório de Genética Molecular de Plantas da EEL-USP.	51
Figura 12. Exemplos de medição (a) da área foliar, (b) comprimento aéreo e (c) comprimento de raiz.	52
Figura 13. Variação do fluxo de argônio sobre a potência da descarga para os três jatos.	53
Figura 14. Formas de onda típicas do sinal de tensão modulada e da corrente de descarga para (a) jato pequeno (b) jato médio (c) jato grande.	54
Figura 15. Figura de Lissajous e potências do (a) jato pequeno, (b) jato médio e (c) jato grande.	55
Figura 16. Ângulo de contato do tratamento de PET com os três jatos de plasma e as respectivas áreas obtidas.	57

Figura 17. Mapas de elevação 3D e morfológicos do AFM (a) controle (b) jato pequeno (c) jato médio e (d) jato grande.....	59
Figura 18. Ligações de carbono das amostras de PET tratadas a plasma.....	60
Figura 19. Valores de ângulo de contato obtidos e fotos do espalhamento das gotas.....	62
Figura 20. Absorção de gotas de água. (a) controle sem tratamento (b) tratada a plasma.	63
Figura 21. Absorção de água das sementes de girassol por tempo de embebição.	64
Figura 22. Valores de perda de massa para sementes de girassol tratadas com jato de plasma	66
Figura 23. Espectros de FTIR- ATR para cada condição.....	68
Figura 24. Fotos das sementes de girassol seccionada ao meio após 24h de imersão em corante (a) controle (b) tratada em 40 s e (c) tratada em 120s.	69
Figura 25. Micrografias das sementes de girassol (a) controle, (b) tratada em 40 s e (c) tratada em 120 s.	70
Figura 26. Taxa de germinação em placas de petri das sementes de girassol.	72
Figura 27. Fotos das placas de petri após 48h de germinação, para as condições (a) CT, (b) tratadas em 40 s e (c) tratadas em 120 s.	73
Figura 28. Taxa de germinação das sementes de girassol em substrato comercial após 7 dias.....	75
Figura 29. Dados de crescimento das mudas de girassol (a) comprimento aéreo, (b) área foliar e (c) comprimento de raiz.....	76
Figura 30. Dados de (a) peso fresco e (b) peso seco das mudas de girassol.	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Exemplos de casos da literatura de tratamentos a plasma em sementes.....	31
Tabela 2. Parâmetros dos jatos de plasma.	46
Tabela 3. Valores de rugosidade do polímero para cada condição de tratamento.....	58
Tabela 4. Diferença estatística da taxa de germinação em placas de petri das sementes de girassol.....	72

LISTA DE SIGLAS

ABA	Ácido Abscísico
AC	Corrente alternada
AFM	Microscópio de Força Atômica
ANOVA	Análise de Variância
APPJ	Jatos de plasma em pressão atmosférica
APTA	Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios
FTIR-ATR	Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier por Refletância Total Atenuada
CC	Corrente contínua
CT	Controle
DBD	Descarga de Barreira Dielétrica
EEL	Escola de Engenharia de Lorena
E_T	Energia Total
EOS	Espectroscopia de Emissão Óptica
FEG	Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá
GA	Giberelina
IEAMAR	Instituto de Estudos Avançados do Mar
INP	<i>Institute for Plasma Science and Technology</i>
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura
NIH	<i>National Institute of Health</i>
Mi	Massa inicial
Mf	Massa final
MF	Massa Fresca
MS	Massa Seca

Ms	Média da massa
P	Potência
PAW	Plasma Activated Water
PET	Politereftarato de Etileno
RF	Radiofrequência
Rms	Rugosidade média quadrática
Tr	Período de repetição
UNESP	Universidade Estadual Paulista
XPS	<i>X-ray photoelectron spectroscopy</i>
WCA	<i>Water contact angle</i>

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVOS	19
1.2 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	20
2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 PLASMA	21
2.1.1 Jatos de plasma em pressão atmosférica (APPJ).....	23
2.1.2 Classificações de jatos de plasma	24
2.2 PLASMA NO TRATAMENTO DE POLÍMEROS.....	27
2.2.1 Politereftarato de Etileno (PET)	29
2.3 PLASMA NA AGRICULTURA	30
2.3.1 Girassol	38
3.0 MATERIAIS E MÉTODOS.....	42
3.1 MATERIAIS	42
3.1.1 Politereftalato de Etileno (PET)	42
3.1.2 Sementes	42
3.2 METODOLOGIA.....	42
3.2.1 Jato de Plasma	43
3.2.1 Tratamentos com jato de plasma	46

3.2.3 Caracterizações realizadas no PET	47
3.2.4 Caracterizações realizadas nas sementes de girassol	48
4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1 TRATAMENTOS EM PET	53
4.1.1 Variação do fluxo de gás	53
4.1.2 Caracterização dos jatos de plasma	54
4.1.3 Potência	55
4.1.4 Ângulo de contato	56
4.1.5 Rugosidade	58
4.1.6 Espectroscopia de Fotoelétrons Excitados por Raios X (XPS).....	60
4.3 TRATAMENTO EM SEMENTES DE GIRASSOL	61
4.3.1. Ângulo de contato (WCA).....	61
4.3.2 Absorção de água.....	63
4.3.3 Perda de massa	65
4.3.4 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier por Refletância Total Atenuada (FTIR-ATR)	67
4.3.5 Absorção de corante (azul de bromofenol) e microscopia óptica.....	68
4.3.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	70
4.3.7 Germinação em placas de petri	72
4.3.8 Germinação em substrato comercial	74
4.3.9 Taxa de Crescimento	75
5.0 CONCLUSÕES.....	80

SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	83
--	-----------

REFERÊNCIAS

1.0 INTRODUÇÃO

A presente tese de doutorado é resultado da cooperação entre o Departamento de Física e Química (DFQ) da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá (FEG-UNESP) e a Escola de Engenharia de Lorena (EEL-USP).

No Laboratório de Plasma e Aplicações do DFQ foi realizado o estudo da uniformidade dos tratamentos a plasma no substrato Politereftarato de Etileno (PET) com diferentes diâmetros de jatos de plasma com formato cônico. As análises de Microscopia de Força Atômica (AFM) foram executadas no Laboratório de Análise de Imagens de Materiais (LAIMat) da FEG-UNESP. Enquanto que, as análises de Espectroscopia de Fotoelétrons Excitados por Raios X (XPS) foram feitas no *Leibniz Institute for Plasma Science and Technology* (INP Greifswald), na Alemanha. Posteriormente, sementes de girassol foram tratadas com um dos jatos estudados. As caracterizações superficiais de ângulo de contato, espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier por Refletância Total Atenuada (FTIR-ATR), perda de massa, absorção de água e germinação em papel filtro também foram realizados no Laboratório de Plasma e Aplicações da FEG-UNESP. Enquanto que, os testes biológicos foram realizados no Laboratório de Genética Molecular de Plantas da EEL-USP e a Microscopia Eletrônica de Varredura foi efetuada no Instituto de Estudos Avançados do Mar (IEAMar-UNESP).

O crescimento da população mundial tem sido uma preocupação dos governantes de diversos países. De acordo com dados das Nações Unidas (2015), estima-se que até 2050 a população mundial atinja a casa dos 9 bilhões de pessoas, e para conseguir alimentar a todos será necessário que a agricultura tenha um crescimento de cerca de 70% até 2050.

Essas estimativas para o futuro são preocupantes, porém a situação mundial atual de escassez de alimentos em certas áreas do planeta é mais alarmante. O mapa da fome divulgado pelo *World Food Programme* (2019) apresentou os países mais afetados pela fome e mostrou dado que indicam que uma em cada nove pessoas no mundo, ainda vão para a cama de estômago vazio todas as noites. E que uma em cada três pessoas no mundo, sofrem de alguma forma de desnutrição.

Em 2015, as Nações Unidas desenvolveram 17 objetivos de desenvolvimento sustentável para serem alcançados até 2030. Dentre esses objetivos, o número 2 é referente à "Fome Zero e Agricultura Sustentável", que visa acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar, melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável (NAÇÕES UNIDAS,

2015). Para se alcançar tais objetivos são necessários grandes investimentos para estudos científicos, desenvolvimento e aplicações de tecnologias sustentáveis na agricultura.

Plasma é de grande importância tanto para a geração de energia quanto para o tratamento e/ou desenvolvimento de materiais orgânicos ou não (LAROUSSE, 2002; WELTMANN et al., 2010). Para o tratamento de materiais, os plasmas frios são frequentemente utilizados (BARDOS; BARANKOVA, 2011), com aplicações que se estendem desde a indústria de revestimentos, eletro-eletrônica, ótica, mecânica, alimentos, biomateriais entre outros (TAPPI et al., 2019; MUI et al., 2016; KOSTOV et al., 2015; FRIDMAN, 2008). Recentemente plasmas frios produzidos em baixas pressões e pressões atmosféricas têm sido aplicados também na agricultura (JIANG et al., 2014; BORMASHENKO et al., 2012; FILATOVA et al., 2014).

Embora as pesquisas neste campo sejam recentes, esperam-se bons resultados, visto que materiais e efluentes agrícolas podem ser tratados pelos plasmas sem produzir impactos ambientais danosos e em alguns casos vir a substituir alguns elementos químicos corriqueiramente utilizados e responsáveis por prejuízos no solo, contaminação de alimentos e nocivos à fauna e aos humanos (LING et al., 2014; MISRA, SCHLÜTER e CULLEN, 2016). Pesquisas neste sentido estão sendo desenvolvidas para melhorar tanto a qualidade, quanto o desenvolvimento e o crescimento de sementes do ramo alimentício, tais como sementes de soja, trigo, tomate, milho entre outros (LING et al., 2014; ZAHORANOVÁ et al., 2016; JIANG et al., 2014; AHN, GILL e RUZIC, 2019).

Além disso, a aplicação do plasma em sementes de árvores nativas (GUIMARÃES et al., 2015), flores (MOLINA et al., 2018) e ervas medicinais (*Cannabis sativa*) também tem sido objetos de estudos (ŠERÁ et al., 2017).

A ação do plasma frio nas sementes ainda não é totalmente compreendida, os mecanismos de como o plasma afeta a germinação das sementes e mais tarde o crescimento e desenvolvimento das plantas ainda não estão claros. Devido às grandes diferenças entre as espécies de plantas e configurações dos dispositivos a plasmas, os resultados obtidos através da literatura nem sempre são concisos, pois cada tipo de semente possui suas próprias características físicas e biológicas.

Neste sentido, com base na literatura a ação do plasma em sementes pode ser vista em três vertentes:

- (a) Modificação superficial das sementes, visando aumentar a taxa de germinação e depois o crescimento e desenvolvimento das plantas (LING et al., 2014; BORMASHENKO et al., 2012; MOLINA et al., 2018).
- (b) Descontaminação das sementes, tornando-as mais resistentes às agressividades do meio e às proliferações de bactérias e fungos no campo (ZAHORANOVÁ et al., 2016; JIANG et al., 2014).
- (c) Para produtos cultivados e já colhidos, o plasma pode ser útil para manutenção da qualidade e assim, aumentar o tempo de prateleira e de consumo dos mesmos (CARPEN et al., 2019; SCHOLTZ et al., 2019).

1.1 OBJETIVOS

Esta tese foi dividida em duas partes, sendo:

- (I) Desenvolvimento do jato de plasma com três diferentes tamanhos (pequeno, médio e grande), aplicados no substrato Politereftalato de Etileno (PET) com o intuito da verificação da uniformidade e da área de tratamento.
- (II) O estudo do tratamento a plasma com um dos jatos de plasma em sementes de girassol. Visando compreender melhor os mecanismos de interação do plasma com as sementes de girassol foram realizadas caracterizações superficiais das sementes antes e após tratamentos a plasma, e a investigação da influência do tratamento na germinação e no crescimento das mudas de girassol. Para tanto, algumas metas específicas a serem alcançadas foram:

Para o substrato polimérico PET

- a) Otimização dos parâmetros dos tratamentos com três diâmetros de jato de plasma.
- b) Avaliação da uniformidade dos tratamentos, através de medidas de ângulo de contato.
- c) Verificação das possíveis mudanças topográficas por meio da microscopia de força atômica.
- d) Análise de mudanças químicas na superfície do PET por XPS.

Para as sementes de girassol

- a) Investigação das mudanças superficiais e físicas das sementes antes e após os tratamentos a plasma, com medidas de molhabilidade, absorção de água, perda de massa, MEV e FTIR-ATR.
- b) Análise da influência do plasma na germinação e no crescimento das mudas de girassol, através de medidas de taxa de germinação, área foliar, comprimento aéreo, comprimento de raiz, peso fresco e peso seco.

1.2 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

O conteúdo desta tese está estruturado em capítulos, onde:

No Capítulo 2 é apresentada uma revisão da literatura sobre plasma, jatos de plasma em pressão atmosférica, plasma no tratamento de polímeros, Politereftalato de Etileno (PET), plasma na agricultura e girassol.

No Capítulo 3 é abordada a parte experimental dos jatos de plasma utilizados, onde são detalhados os parâmetros experimentais referentes às técnicas de caracterização utilizadas para análise do PET e das sementes de girassol tratadas a plasma.

No Capítulo 4 são expostos os resultados obtidos tanto para o PET, quanto para as sementes de girassol, e as discussões pertinentes destes resultados. Por fim, no Capítulo 5 são apresentadas as conclusões, propostas de futuros trabalhos e referências.

5.0 CONCLUSÕES

Esta tese foi dividida em duas partes, sendo a primeira parte referente ao estudo da modificação superficial do polímero PET com três jatos cônicos de diferentes diâmetros, que teve como objetivo a verificação da uniformidade do tratamento a plasma com os jatos cônicos. Para isso, foram realizadas as caracterizações dos três jatos de plasma e os parâmetros de tratamento foram determinados para que os três jatos tivessem doses de energia com valores semelhantes.

Após tratamentos a plasma, foi verificada uma diminuição considerável dos valores de ângulo de contato das superfícies de PET tratadas com os três jatos, atingindo um patamar mínimo similar para os três jatos de $\sim 25^\circ$. A área de tratamento uniforme alcançada para cada jato de plasma foi de 3.0 cm^2 (jato pequeno), 12.5 cm^2 (jato médio) e 30.0 cm^2 (jato grande). Ou seja, alterando-se a geometria do bocal do jato de plasma foi possível modificar a área de tratamento uniforme obtida.

Através da análise topográfica da superfície do PET foi possível verificar um aumento da rugosidade, tanto dentro quanto fora do funil (cone do jato), após tratamentos a plasma com os três jatos. Além disso, foi notada uma relação entre a potência por unidade de área aplicada com os valores de rugosidade. Outra questão encontrada foi a extensão do tratamento a plasma para fora do cone, devido à rugosidade também ter aumentado fora da área do cone, enquanto que, na análise das mudanças químicas superficiais do PET realizada por XPS foi verificado um aumento da fração de O e da razão O/C, com a incorporação de pequenas quantidades N e remoção das contaminações de Cl e Si das partes centrais das amostras tratadas a plasma com os três jatos. Com base nos resultados obtidos, pode-se inferir que a redução considerável dos valores de ângulo de contato foi causada principalmente pela funcionalização da superfície e incorporação de espécies polares conforme detectado pela análise XPS, ao invés das mudanças nos valores de rugosidade encontrados que são menores que uma dezena de nanômetros.

Baseado nos resultados obtidos pode-se inferir que o jato de plasma cônico foi eficiente para aumentar a área de tratamento (cerca de $\sim 30 \text{ cm}^2$ para o jato grande) e também na obtenção de uma superfície de tratamento uniforme com condições de operação viável (baixo fluxo de gás e utilizando argônio como gás de trabalho). Estes resultados oferecem uma visão sobre como mudar a geometria do bocal do jato de plasma pode melhorar significativamente a uniformidade do tratamento e aumentar a área tratada do polímero PET.

As sementes de girassol tratadas a plasma apresentaram um aumento substancial da molhabilidade pela diminuição dos valores de ângulo de contato, um incremento significativo na absorção de água e corante, uma perda de massa relativa, alteração de algumas bandas e ligações superficiais e modificação topográfica das sementes tornando-as não uniforme devido ao *etching* (ataque) na superfície. Na germinação em placas de petri foi constatado um retardo na germinação apenas nos primeiros dias das sementes tratadas em 60 s e 120 s, enquanto que, na germinação em substrato essa diferença não foi notada. Na taxa de germinação foram obtidos resultados significativos no comprimento aéreo e no comprimento de raiz. Porém, devido à uma considerável perda de raízes os resultados de peso fresco e peso seco podem ter sido afetados. No geral, os dados da taxa de crescimento das mudas de girassol apresentaram um mesmo comportamento, apesar de nem todos os resultados obtidos terem uma diferença significativa.

O jato de plasma cônico utilizado nesta tese foi capaz de modificar a germinação, crescimento e desenvolvimento das sementes de girassol. Tal efeito foi obtido possivelmente devido ao aumento da absorção de água e molhabilidade das sementes, desencadeada pelas mudanças superficiais (incorporação de grupos funcionais) e topográficas das sementes de girassol, conforme análise de MEV e FTIR-ATR, o que provavelmente facilitou a permeabilidade de nutrientes e a ativação de diversas reações fisiológicas.

Em relação ao retardo na germinação em placas de petri verificado apenas nas primeiras 96 h, pode estar relacionado a uma absorção demasiada de água das sementes de girassol tratadas a plasma, o que poderia estar causando um atraso na emissão da radícula. Pode-se supor que o plasma não causou danos permanentes nas sementes, pois não houve diferença significativa da taxa de sementes germinadas ao final.

O aumento do comprimento aéreo e do comprimento de raiz observados reforça o conceito de que os efeitos do tratamento a plasma estendem-se até a fase de desenvolvimento das mudas. Porém, para promover um crescimento efetivo devem-se levar em conta vários atributos, tais como: tempo de tratamento, potência aplicada no plasma e o tipo de semente estudado.

Por fim, conclui-se que a utilização de três jatos cônicos com diferentes diâmetros foram efetivos para se obter um área de tratamento uniforme com algumas dezenas de cm² de dimensão no PET. Além disso, o jato cônico foi capaz de modificar a germinação, crescimento e desenvolvimento das sementes de girassol. Os ensaios de caracterização físico-químico e superficiais das sementes de girassol deram uma ideia de como se ocorre à

interação do plasma com as sementes de girassol. Porém, análises biológicas mais aprofundadas, tais como fitormônios, proteínas e nutrientes são necessárias para se compreender melhor os mecanismos de interação entre os dois.

SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- Aplicação em campo: cultivar as sementes de girassol tratadas e não tratadas em um lote de terra e verificar os efeitos num ambiente hostil (sem controle de água, solo e temperatura).
- Uma análise mais efetiva das respostas biológicas das sementes de girassol tratadas a plasma. Estudo da modificação de fitormônios, proteínas e nutrientes de sementes tratadas a plasma.
- Estudo do tratamento de outros tipos de sementes e comparação dos resultados obtidos com das sementes de girassol.
- Utilizar água ativada a plasma (PAW) para regar sementes de girassol e realizar um estudo comparativo dos tratamentos com o jato de plasma.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, S.P. **Uso de politereftalato de etileno (PET) como agregado em peças de concreto para pavimento intertravado**. 2016. 119 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.
- ALVES, E. U. *et al.* Ácido sulfúrico superação da dormência de unidade de dispersão de juazeiro (*Zizyphus joazeiro Mart.*). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 187–195, 2006.
- AHN, C.; GILL, J.; RUZIC, D. N. Growth of plasma-treated corn seeds under realistic conditions. **Scientific Reports**, London, v. 9, n. 1, p. 1–7, 2019.
- ARAÚJO, P. C. *et al.* O ácido giberélico acelera a emergência de sementes de juazeiro. **Horticultura Brasileira**, Recife, v. 27, n. 2, p. 564–568, 2009.
- ARPAGAU, C.; OBERBOSSSEL, G.; ROHR, P.R.V. Plasma treatment of polymer powders from laboratory research to industrial application. **Plasma Process Polymer**, Weinheim, v.15, p. 1-60, 2018.
- BARDOS, L.; BARANKOVA, H. Cold atmospheric plasma: sources, processes, and applications. **Thin Solid Films**, Zürich, v.518, p. 6705–6713, 2010.
- BORCIA, C.; PUNGA, I. L.; BORCIA, G. Surface properties and hydrophobic recovery of polymers treated by atmospheric-pressure plasma. **Applied Surface Science**, Amsterdam, v. 317, p. 103–110, 2014.
- BORMASHENKO, E. *et al.* Cold Radiofrequency Plasma Treatment Modifies Wettability and Germination Speed of Plant Seeds. **Scientific Reports**, London, v. 2: 741, p. 3–10, 2012.
- CALDEIRA, C. M. **Testes rápidos para avaliação da qualidade de sementes de girassol**. 2010. 87f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia). Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2010.
- CARPEN, L.G. *et al.* The effect of argon/oxygen and argon/nitrogen atmospheric plasma jet on stored products pests. **Romanian Journal of Physics**, Bucharest, 64, v. 503, p. 1–13, 2019.
- COSTA, C. H. M.; DIARIS, K. B.; GUIMARÃES, T. M. Dormência de sementes de Jatobá. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Garça, v. 30, n.1, p. 44–52, 2017.
- D'AGOSTINO, R. **Plasma Deposition, Treatment, and Etching of Polymers**. Academic Press Inc. 528 p. San Diego, 1990.

DUBUC, A *et al.* Use of cold-atmospheric plasma in oncology: a concise systematic review. **Ther Adv Med Oncol.**, London, v. 10, p. 1–12, 2018.

EL-BAHY, G. M. S. FTIR and Raman spectroscopic study of fenugreek (*Trogonella foenum graecum L.*) seeds. **Journal of Applied Spectroscopy**, New York, v. 72, n. 1, p. 106–110, 2005.

EMBRAPA. **Girassol**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/girassol>
Acesso em: 15 nov. 2019.

FENG, J. *et al.* Effects of cold plasma treatment on alfalfa seed growth under simulated drought stress. **Plasma Science and Technology**, Beijing, v. 20, n. 3, 2018.

FREEPIK. **Diagrama ciclo de vida do girassol**.

Disponível em: https://br.freepik.com/vetores-premium/diagrama-mostrando-o-ciclo-de-vida-do-girassol_1296925.htm

Acesso em: 20 julho 2019.

FILATOVA, I. I. *et al.* Effect of RF plasma treatment on the germination and phytosanitary state of seeds. **Journal of Applied Spectroscopy**, New York, v. 81, n. 2, p. 256–262, 2014.

FILATOVA, I. I. *et al.* Plasma seeds treatment as a promising technique for seed germination improvement. **31st International Conference on Phenomena in Ionized Gases · ICPIG**, p. 1-4, Granada, 2013.

FRIDMAN, G. *et al.* Applied plasma medicine. **Plasma Processes and Polymers**, Weinheim, v. 5, n. 6, p. 503–533, 2008.

GAO, M. *et al.* Modification of polyethylene terephthalate (PET) films surface with gradient roughness and homogenous surface chemistry by dielectric barrier discharge plasma. **Chemical Physics Letters**, Amsterdam, v. 689, p.179–184, 2017.

GENEAU-SBARTAI, C. *et al.* Sunflower cake as a natural composite: composition and plastic properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.56, p.11198–11208, 2008.

GÓMEZ-RAMÍREZ, A. *et al.* Surface chemistry and germination improvement of Quinoa seeds subjected to plasma activation. **Scientific Reports**, London, v.7, p. 1–12, 2017.

GOOGLE ACADÊMICO. **Plasma Treated Seeds**

Disponível em:

https://scholar.google.com.br/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=%E2%80%9Cplasma+treated+seeds%E2%80%9D+&btnG=

Acesso em: 25 nov. 2019.

GORBANEV, Y. *et al.* Applications of the cost plasma jet: more than a reference standard. **Plasma**, Basel, v. 2, n. 3, p. 316–327, 2019.

GUIMARÃES, I.P. *et al.* Double barrier dielectric plasma treatment of *leucaena* seeds to improve wettability and overcome dormancy. **Seed Science & Technology**, Bassersdorf, v. 3, p. 526–530, 2015.

GUIMOND, S.; WERTHEIMER, M. R. Surface degradation and hydrophobic recovery of polyolefins treated by air corona and nitrogen atmospheric pressure glow discharge. **Journal of Applied Polymer Science**, Hoboken, v. 94, n. 3, p. 1291–1303, 2004.

GUO, Q. *et al.* Improvement of Wheat Seed Vitality by Dielectric Barrier Discharge Plasma Treatment. **Bioelectromagnetics**, New York, v. 39, p. 120–131, 2018.

HEGEMANN, D.; BRUNNER, H.; OEHR, C. Plasma treatment of polymers for surface and adhesion improvement. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms**, Amsterdam, v. 208, n. 1-4, p. 281–286, 2003.

IMAGE J. **Features**. Disponível em: <https://imagej.nih.gov/ij/features.html>
Acesso em: 15 out. 2019.

JI, S. H. *et al.* Effects of high voltage nanosecond pulsed plasma and micro DBD plasma on seed germination, growth development and physiological activities in spinach. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, New York, v. 605, p. 117–128, 2016.

JIANG, J. *et al.* Effect of seed treatment by cold plasma on the resistance of tomato to *Ralstonia Solanacearum* (bacterial wilt). **PLoS ONE**, San Francisco, v. 9, n. 5, p.1-6, 2014.

KEIDAR, M.; YAN, D.; SHERMAN, J.H. **Cold plasma cancer therapy**. Iop Concise Physics, 98p, Washington, 2019.

KHAMSEN, N. *et al.* Rice (*Oryza sativa L.*) Seed sterilization and germination enhancement via atmospheric hybrid nonthermal discharge plasma. **ACS Applied Materials and Interfaces**, New York, v. 8, n. 30, p. 19268–19275, 2016 a.

KHAMSEN, N. *et al.* Organic and bio material surface modification via corona discharge induced atmospheric-cold plasma. **Procedia Computer Science**, Amsterdam, v. 86, p. 325–328, 2016 b.

KITAZAKI, S. *et al.* Plasma induced long-term growth enhancement of *Raphanus sativus* L. using combinatorial atmospheric air dielectric barrier discharge plasmas. **Current Applied Physics**, Amsterdam, v. 14, p. S149–S153, 2014.

KOSTOV, K. G. *et al.* Surface modification of polymeric materials by cold atmospheric plasma jet. **Applied Surface Science**, Amsterdam, v. 314, p. 367–375, 2014.

KOSTOV, K. G. *et al.* Study of cold atmospheric plasma jet at the end of flexible plastic tube for microbial decontamination. **Plasma Processes and Polymers**, Weinheim, v. 12, p. 1383–1391, 2015.

KUSANO, Y. Atmospheric pressure plasma processing for polymer adhesion: A review. **Journal of Adhesion**, Abingdon, v. 90, n. 9, p. 755–777, 2014.

LAI, J. *et al.* Study on hydrophilicity of polymer surfaces improved by plasma treatment. **Applied Surface Science**, Amsterdam, v. 252, n. 10, p. 3375–3379, 2006.

LAROUSSI, M. Nonthermal decontamination of biological media by atmospheric-pressure plasmas: Review, analysis, and prospects. **IEEE Transactions on Plasma Science**, New Jersey, v. 30, n. 4 I, p. 1409–1415, 2002.

LAROUSSI, M. Plasma medicine: a brief introduction. **Plasma**, Basel, v.1, p. 47–60, 2018.

LEDO, S. *et al.* Efeito do tamanho da semente, do substrato e pré- tratamento na germinação de sementes de pupunha Effect of size seed , substrate and dormancy breaking methods on the germination of peach palm seeds. **Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 33, p. 29–32, 2002.

LIANG, P. *et al.* The use of fourier transform infrared spectroscopy for quantification of adulteration in virgin walnut oil. **Journal of Spectroscopy**, Cairo, v. 1, n. 1, 2013.

LING, L. *et al.* Effects of cold plasma treatment on seed germination and seedling growth of soybean. **Scientific Reports**, London, v. 4, n. 1, p. 1–7, 2014.

LOTFY, K. Effects of cold atmospheric plasma jet treatment on the seed germination and enhancement growth of watermelon. **Open Journal of Applied Sciences**, Stanford, v.7, n.12, p. 705–719, 2017.

LU, X.P. *et al.* **Nonequilibrium atmospheric pressure plasma jets fundamentals, diagnostics, and medical applications**. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2019, 424 p.

LU, X.; LAROUSSI, M.; PUECH, V. On atmospheric-pressure non-equilibrium plasma jets and plasma bullets. **Plasma Sources Science and Technology**, Bristol, v.21, n.034005, p. 1–17, 2012.

MALDONADO-ARCINIEGAS, F. *et al.* An evaluation of physical and mechanical scarification methods on seed germination of *Vachellia macracantha* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Seigler & Ebinger. **Acta Agronómica**, Palmira, v. 67, n. 1, 2018.

MATRA, K. Atmospheric non-thermal argon-oxygen plasma for sunflower seedling growth improvement. **Japanese Journal of Applied Physics**, Tokyo, v. 57, n. 1, 2018.

MATSUSAKA, S. Control of particle charge by atmospheric pressure plasma jet (APPJ): a review. **Advanced Powder Technology**, Amsterdam, v. 30, n. 12, p. 2851–2858, 2019.

MENG, Y *et al.* Enhancement of germination and seedling growth of wheat seed using dielectric barrier discharge plasma with various gas sources. **Plasma Chemistry and Plasma Processing**, Tallahassee, v. 37, p.1105–1119, 2017.

MIHAI, A. L. *et al.* Positive effect of non-thermal plasma treatment on radish seeds. **Romanian Reports in Physics**, Bucharest, v. 66, n. 4, p. 1110–1117, 2014.

MILDAŽIENĖ, V. *et al.* Treatment of common sunflower (*Helianthus annuus L.*) seeds with radio-frequency electromagnetic field and cold plasma induces changes in seed phytohormone balance, seedling development and leaf protein expression. **Scientific Reports**, London, v. 9, n. 1, p. 1–12, 2019.

MISRA, N.N.; SCHLÜTER, O.; CULLEN, P.J. **Cold plasma in food and agriculture: fundamentals and applications**. Academic Press, United Kingdom, 380 p., 2016.

MOLINA, R. *et al.* Influence of irrigation conditions in the germination of plasma treated Nasturtium seeds. **Scientific Reports**. London, V. 8:16442. October, p. 1–11, 2018.

MUI, T.S.M *et al.* Polyurethane paint adhesion improvement on aluminium alloy treated by plasma jet and dielectric barrier discharge. **Journal of Adhesion Science and Technology**, Leiden, v. 30, n. 2, p. 218–229, 2016.

MUI, T.S.M *et al.* Uniform surface modification of polyethylene terephthalate (PET) by atmospheric pressure plasma jet with a horn-like nozzle. **Surface & Coatings Technology**, Amsterdam, v. 352, p. 338–347, 2018.

NAÇÕES UNIDAS. **Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**.

Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/ods2/>

Acesso em: 15 nov. 2019.

NUR, M. *et al.* Study of an atmospheric pressure plasma jet of argon generated by column dielectric barrier discharge. **Journal of Physics: Conference Series**, London, v. 776, n. 1, p. 1-6, 2016.

ONYSHCHENKO, I. *et al.* Local analysis of pet surface functionalization by an atmospheric pressure plasma jet. **Plasma Processes and Polymers**, Weinheim, v. 12, n. 5, p. 466–476, 2015.

ONYSHCHENKO, I.; DE GEYTER, N.; MORENT, R. Improvement of the plasma treatment effect on PET with a newly designed atmospheric pressure plasma jet. **Plasma Processes and Polymers**, Weinheim, v. 14, n. 8, p.1-15, 2017.

PAWLAT, J. Atmospheric pressure plasma jet for decontamination purposes. **The European Physical Journal Applied Physics**, Les Ulis, v.61, p. 1-11, 2013.

PULIGUNDLA, P.; KIM, J. W.; MOK, C. Effect of corona discharge plasma jet treatment on decontamination and sprouting of rapeseed (*Brassica napus L.*) seeds. **Food Control**, Oxford, v. 71, p. 376–382, 2017.

RABELLO, M. S.; WELLEN, R. M. R. Estudo da cristalização a frio do poli (tereftalato de etileno) (PET) para produção de embalagens. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande, v. 32, p. 1–9, 2008.

RANDENIYA, L. K.; GROOT, G. J. J. B. De. Non-thermal plasma treatment of agricultural seeds for stimulation of germination, removal of surface contamination and other benefits: a review. **Plasma Processes and Polymers**, Weinheim, v.12, p. 608–623, 2015

ROMÃO, W.; SPINACÉ, M. A. S.; DE PAOLI, M. A. Poli(tereftalato de etileno), PET: uma revisão sobre os processos de síntese, mecanismos de degradação e sua reciclagem. **Polimeros**, São Carlos, v. 19, n. 2, p. 121–132, 2009.

SADHU, S. *et al.* Influence of cold plasma on the enzymatic activity in germinating mung beans (*Vigna radiate*). **LWT - Food Science and Technology**, Georgia, 78, p. 97-104, 2017.

SANTOS, T.O.; MORAIS, T.G.O.; MATOS, V.P. Escarificação mecânica em sementes de *Chichá*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n.1, p. 1–6, 2004.

SANTOS, G.L *et al.* **Cultivo de girassol para a apicultura, forragem e produção de óleo**. Campina Grande: Editora da Universidade Estadual da Paraíba, 2014. 35p.

SCHOLTZ, V. *et al.* Effects of nonthermal plasma on wheat grains and products. **Journal of Food Quality**, Malden, v. 2019, p. 1-10, 2019.

SHAPIRA, Y. *et al.* Plasma treatment switches the regime of wetting and floating of pepper seeds. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, Amsterdam, v. 157, p. 417–423, 2017.

SHAW, D. *et al.* Mechanisms behind surface modification of polypropylene film using an atmospheric-pressure plasma jet. **Plasma Sources Science and Technology**, Bristol, v. 25, n. 6, 2016.

SEILER, G.J.; GULYA, T.J. **Sunflower overview**. Encyclopedia of Food Grains (Second Edition) Oxford, UK: Elsevier.2016, 1, 247–253.

ŠERÁ, B. *et al.* Germination of *Chenopodium Album* in response to microwave plasma treatment. **Plasma Science and Technology**, Beijing, v. 10, n.4, 2008.

ŠERÁ, B. *et al.* Seed germination and early growth responses to seed pre-treatment by non-thermal plasma in hemp cultivars (*Cannabis sativa L.*). **Plasma Chemistry and Plasma Processing**, New York, v.37, p.207–221, 2017.

SILVA, J.A.A. **Utilização do politereftalato de etileno (PET) em misturas asfálticas**. 2015. 141f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2015.

SIRELLI, L. Comportamento térmico de cristais de poli(tereftalato de etileno). **Anais do 7º Congresso Brasileiro de Polímeros**. Belo Horizonte, p. 596-597, 2004.

SLEPIČKA, P. *et al.* Surface characterization of plasma treated polymers for applications as biocompatible carriers. **Express Polymer Letters**, Budapest, v. 7, n. 6, p. 535–545, 2013.

STEHFEST, K.; TOEPEL, J.; WILHELM, C. The application of micro-FTIR spectroscopy to analyze nutrient stress-related changes in biomass composition of phytoplankton algae. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 43, n. 7, p. 717–726, 2005.

ŠTĚPÁNOVÁ, V. *et al.* Atmospheric pressure plasma treatment of agricultural seeds of cucumber (*Cucumis sativus L.*) and pepper (*Capsicum annuum L.*) with effect on reduction of diseases and germination improvement. **Plasma Processes and Polymers**, Weinheim, v. 15, n.2, p. 1–9, 2017.

STOLÁRIK, P. *et al.* Effect of low-temperature plasma on the structure of seeds, growth and metabolism of endogenous phytohormones in pea (*Pisum sativum L.*). **Plasma Chemistry Plasma Process**, New York, v.35, p. 659–676, 2015.

STRYCZEWSKA, H. D. *et al.* Non-thermal plasma-based technology for soil treatment. **Plasma Processes and Polymers**, Weinheim, v. 2, n. 3, p. 238–245, 2005.

SUKKASEM, C. *et al.* Rapid chemometric method for the determination of oleic and linoleic acid in sunflower seeds by ATR-FTIR spectroscopy. **Chiang Mai Journal of Science**, Chiang Mai, v. 42, n. 4, p. 930–938, 2015.

TAMAI, T. *et al.* Surface modification of PEN and PET substrates by plasma treatment and layer-by-layer assembly of polyelectrolyte multilayer thin films and their application in electroless deposition. **RSC Advances**, Cambridge, v. 7, n. 53, p. 33155–33161, 2017.

TAPPI S. *et al.* Browning response of fresh-cut apples of different cultivars to cold gas plasma treatment. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, Berlin, v. 53, p. 56-62, 2019.

TENDERO, C. *et al.* Atmospheric pressure plasmas: a review. **Spectrochimica Acta Part B**, Belfast, v. 61, p. 2–30, 2006.

TESKE, S.; GONÇALVES, P. F. A.; NAGALLI, A. Desenvolvimento de modelo conceitual de telha ecológica a partir de resíduos de PET e gesso da construção. **Cerâmica**, São Paulo, v. 61, n. 358, p. 190–198, 2015.

THOMAS, M.; MITTAL, K.L. **Atmospheric pressure plasma treatment of polymers: relevance to adhesion**. Beverly: Scrivener Publishing, 2013, 393 p.

THOMAS, S. *et al.* **Non-thermal plasma technology for polymeric materials**. 1. Ed. Amsterdam: Elsevier, 2019. 494 p.

VAN DEYNSE, A. *et al.* Surface activation of polyethylene with an argon atmospheric pressure plasma jet: Influence of applied power and flow rate. **Applied Surface Science**, Amsterdam, v. 328, p. 269–278, 2015.

VON WOEDTKE, TH. *et al.* Plasmas for medicine. **Plasma Physics Reports**, New York, 530, p. 291–320, 2013.

WANG, X. Q. *et al.* Spectral characteristics of cotton seeds treated by a dielectric barrier discharge plasma. **Scientific Reports**, London, v. 7, n. 1, p. 1–9, 2017.

WELTMANN, K.D. *et al.* Atmospheric-pressure plasma sources: Prospective tools for plasma medicine. **Pure and Applied Chemistry**, Durham, v. 82, n. 6, p. 1223–1237, 2010.

WORLD FOOD PROGRAMME. **Hunger Map 2019**. Disponível em:
https://www.wfp.org/zero-hunger?_ga=2.49207206.1634170509.1580737007-369429766.1580737007
 Acesso em: 15 nov. 2019.

WINTER, J.; BRANDENBURG, R.; WELTMANN, K. D. Atmospheric pressure plasma jets: An overview of devices and new directions. **Plasma Sources Science and Technology**, Bristol, v. 24, n. 6, p. 1-19, 2015.

WOLF, R. A. **Atmospheric pressure plasma for surface modification**. Beverly: Scrivener Publishing LLC. 2013, 241p.

WOLF, R.; SPARAVIGNA, A.C. Role of Plasma Surface Treatments on Wetting and Adhesion. **Engineering**, Beijing, v. 2, p. 397-402, 2010.

YAN, D.; SHERMAN, J. H.; KEIDAR, M. Cold atmospheric plasma, a novel promising anti-cancer treatment modality. **Oncotarget**, Albany, v. 8, n. 9, p. 15977–15995, 2017.

YASUDA, H; Plasma for Modification of Polymers. **Journal of Macromolecular Science: Part A - Chemistry**, Philadelphia, v.10, n.3, p. 383-420, 1976.

YASUDA, H. Modification of polymers by plasma treatment and by plasma polymerization. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 9, p. 805-817, 1977.

ZAHORANOVÁ, A. *et al.* Effect of cold atmospheric pressure plasma on the wheat seedlings vigor and on the inactivation of microorganisms on the seeds surface. **Plasma Chemistry and Plasma Processing**, Tallahassee, v. 36, n. 2, p. 397–414, 2016.

ZHANG, X. *et al.* Atmospheric cold plasma jet for plant disease treatment. **Atmospheric. Applied Physics Letters**, Melville, v.104, p. 1-4, 2014.

ZHOU R. *et al.* Atmospheric-pressure plasma treated water for seed germination and seedling growth of mung bean and its sterilization effect on mung bean sprouts. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, Berlin, v. 53, p. 36-44, 2019.

ZUKIENE, R. *et al.* DBD plasma treatment induced changes in sunflower seed germination, phytohormone balance, and seedling growth. **Applied Physics Express**, Tokyo, v. 12, p. 1-15, 2019

- **PREMIAÇÕES**

- 1st place for Breaking the Walls of Plasma in Agriculture (oral presentation), Falling Walls Lab Wroclaw, Poland, 2018.

- 2º lugar no III Workshop da Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Engenharia de Produção. UNESP - Guaratinguetá. Com o pôster intitulado: Caracterização superficial de tratamentos a plasma em sementes de girassol. 2019.

- 2º melhor poster, no XL Congresso Brasileiro de Aplicações em Vácuo na Indústria e na Ciência. Com o pôster intitulado: Germination rate of sunflower seeds treated by plasma. 2019.

- **PUBLICAÇÕES**

MUI, TAIANA SHE MIR; MOTA, ROGÉRIO PINTO ; QUADE, ANTJE ; HEIN, LUIS ROGÉRIO DE OLIVEIRA ; KOSTOV, KONSTANTIN GEORGIEV . Uniform surface modification of polyethylene terephthalate (PET) by atmospheric pressure plasma jet with a horn-like nozzle. **Surface & Coatings Technology**, Amsterdam, v. 352, p. 338-347, 2018.