



Universidade Estadual de Maringá  
Centro de Ciências Exatas  
Departamento de Física

Trabalho de Conclusão de Curso

**Descasamento Espectral e a Eficiência  
Fotovoltaica da Célula Solar de Silício:  
Princípios Fundamentais e a Medida da  
Espessura de Filmes Finos de  
Fotoconversores Espectrais**

Acadêmico: Jhonatan Willian Berrar

Orientador: Prof. Dr. Mauro Luciano Baesso

Maringá, 21 de maio de 2021



Universidade Estadual de Maringá  
Centro de Ciências Exatas  
Departamento de Física

Trabalho de Conclusão de Curso

**Descasamento Espectral e a Eficiência  
Fotovoltaica da Célula Solar de Silício:  
Princípios Fundamentais e a Medida da  
Espessura de Filmes Finos de  
Fotoconversores Espectrais**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Física da Universidade Estadual de Maringá, sob orientação do Prof. Dr. Mauro Luciano Baesso, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Física.

Acadêmico: Jhonatan Willian Berrar

Orientador: Prof. Dr. Mauro Luciano Baesso

Maringá, 21 de maio de 2021

*“Gandalf: ...All we have to  
decide is what to do with the  
time that is given us.”*

---

J.R.R. Tolkien, *The Fellowship  
of the Ring.*

*E disse Deus: Haja luz; então  
houve luz.*

---

Bíblia, Livro do Gênesis 1:3.

# Dedicatória

---

Dedico este trabalho primeiramente à minha querida mãe, Maria Aparecida de Lourdes Berrar (*in memoriam*). Sua presença me ensinou amor, caráter e responsabilidade. Sua ausência me ensinou a ser forte e resiliente diante dos acasos e intempéries da vida.

À Aline Moretto, minha namorada, agradeço imensamente pelo seu amor, carinho e dedicação à mim. Obrigado pelos momentos de descontração, tão importantes para me restaurar a sanidade que o processo de escrita aos poucos corrói, sem seu apoio este trabalho simplesmente não teria existido. Obrigado por soprar o vento que me levou novamente ao porto seguro da física. A você expresso todo meu amor e carinho.

À Sônia Moretto, minha querida sogra, pelo carinho e tamanha dedicação para conosco. Agradeço por fazer parte desta família.

Ao meu pai, e ao meu irmão agradeço pela vida e pelas lições diretas e indiretas. Meu muito obrigado.

À Suzete e Júlio Ramos, por compartilharem sua própria família comigo. Agradeço pelos puxões de orelha e por me acolherem como um filho. Serei eternamente grato.

Aos grandes amigos que fiz durante a graduação: Alexandre Alabora (Alex André), Matheus Santos (TH), Maurício Mazurek (MauMau) e Vítor Hugo Ribeiro (Virto). Agradeço pelas acaloradas discussões, risadas e, não menos importante, pelos momentos de estudo. À vocês desejo todo sucesso do mundo, especialmente em suas carreiras científicas e *hobbies*. Que eu possa compartilhar por muito tempo desta amizade. Obrigado.

Aos amigos e amigas Ana Bernabé, Bruna Ribeiro, Danilo Silva, Douglas Barros, Gabriela Barbosa (Gaby), Jefferson (Pato), Leonardo Vieira, Marcos William, Seno Zimke, Sergio Humberto, Thiago Romam e Victoria Gonzaga (Gonzaguinha). Agradeço pelas risadas e pelos momentos de diversão que tanto aliviaram o fardo da graduação.

Uma menção especial à Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Franciele Sato (Fran), quem me iniciou no universo da pesquisa científica e que me ajudou a confiar um pouco mais em mim.

À Dr<sup>a</sup>. Ivone Dias e ao Lisberto Gambato expresso todo meu respeito e gratidão. Sem o apoio de vocês a graduação teria sido um fardo enorme, senão impossível de carregar. Obrigado por apoiar este estudante, espero um dia retribuir de alguma forma toda a ajuda.

E por fim, para que não haja injustiças, dedico este trabalho a todas as pessoas que contribuíram de alguma maneira para minha trajetória acadêmica e pessoal.

# Agradecimentos

---

Meus mais sinceros agradecimentos ao Prof. Dr. Mauro Luciano Baesso. Obrigado por me aceitar como aluno de iniciação científica e por ter me orientado neste trabalho. Ao senhor, dedico meu respeito e admiração.

Agradeço ao Prof. Dr. Robson Ferrari Muniz com toda a ajuda durante o projeto de iniciação científica que culminou neste trabalho.

Ao Prof. Dr. Antônio Medina Neto agradeço pela ajuda e considerações com a dedução da expressão matemática utilizada para simular os sinais fotoacústicos.

Um agradecimento especial à Dr<sup>a</sup>. Lidiane Hoshino por toda orientação durante as medidas com a espectroscopia fotoacústica. Obrigado por toda sua atenção e disposição em ensinar. Mais uma vez obrigado!

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Hatsumi Mukai, por toda ajuda e apoio durante o processo até a apresentação deste trabalho, todo o meu respeito e gratidão.

Agradeço também à Universidade Estadual de Maringá (UEM) pela oportunidade de estudar em tão excelente instituição, e um obrigado especial a todos os professores que de alguma forma contribuíram para o meu crescimento acadêmico.

Por fim, pelo apoio financeiro agradeço ao CNPq e à Capes.

# Resumo

---

O descasamento entre a resposta espectral da célula solar de silício, e a irradiância espectral solar sobre a superfície terrestre é reconhecidamente um dos fatores que mais impactam na performance de dispositivos fotovoltaicos baseados neste elemento. Associados ao descasamento espectral, além das perdas por não-absorção da radiação, cerca de 33% da energia solar se perde por conta de processos de termalização que ocorrem devido à absorção de Fótons de alta energia da região ultravioleta-visível do espectro solar, por parte dos elétrons do silício cristalino destes dispositivos, o que reduz sua eficiência. Neste contexto, estudou-se os fundamentos acerca das células solares de silício cristalino de junção única, com foco na influência do descasamento espectral sobre a eficiência geral destes. Também, discutiu-se a possibilidade do uso de filmes finos amorfos feitos do vidro Aluminossilicato de Cálcio com baixa concentração de Sílica, codopado com os íons  $\text{Nd}^{3+}$  e  $\text{Yb}^{3+}$ , evaporados por meio da técnica de deposição por laser pulsado e, por fim, depositados sobre a superfície de substratos de silício cristalino, com a possibilidade de atuarem como conversores espectrais descendentes via transferência de energia do íon neodímio para o íon itérbio, cuja emissão de radiação ocorre em valores próximos ao *band gap* do silício cristalino. Além disso, as espessuras destes filmes foram medidas com a espectroscopia fotoacústica. Os resultados mostraram que a espessura dos filmes depositados cresce linearmente com os tiros do laser, aumentando de 170 até 620 nm para tiros do laser variando de 5.000 até 20.000 pulsos. Em perspectiva, este resultado permite otimizar a espessura do filme tanto para que se evite perdas de radiação incidente, atribuídas a interferência destrutiva sobre da célula solar, quanto os processos de produção em grande escala do mesmo.

**Palavras chave:** células solares de silício cristalino, matéria condensada, espectroscopia fotoacústica, filmes finos amorfos, descasamento espectral.