

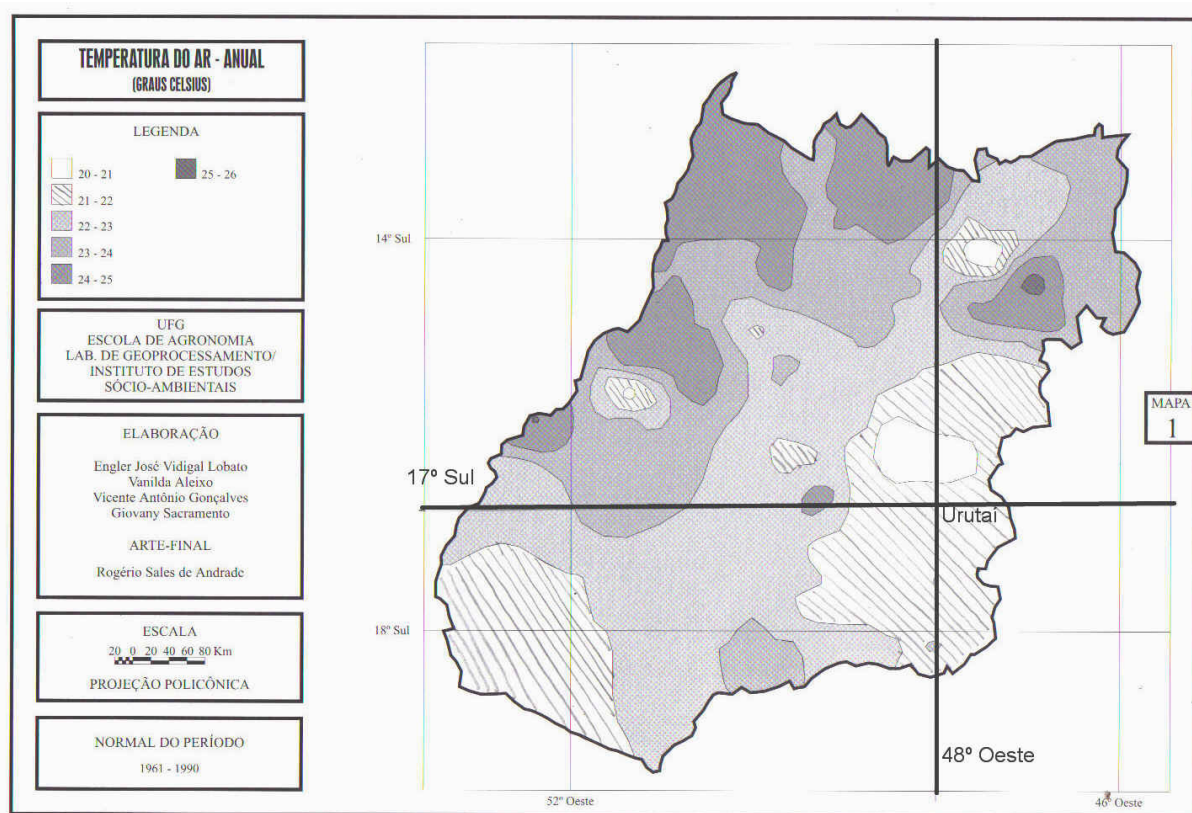


Figura 5.12: Temperatura média anual no estado de Goiás.

Fonte: Atlas Climatológico do Estado de Goiás 2002

Da Figura 5.12 é possível observar que a temperatura média anual para a cidade de Urutaí está entre 21 e 22 °C.

Da mesma forma a insolação incidente no estado é um fator muito importante na determinação das condições de funcionamento do painel solar. Embora o mapa presente na Figura 5.13 não informe a intensidade luminosa que chega na região, ele informa a quantidade de horas de incidência solar durante o ano.

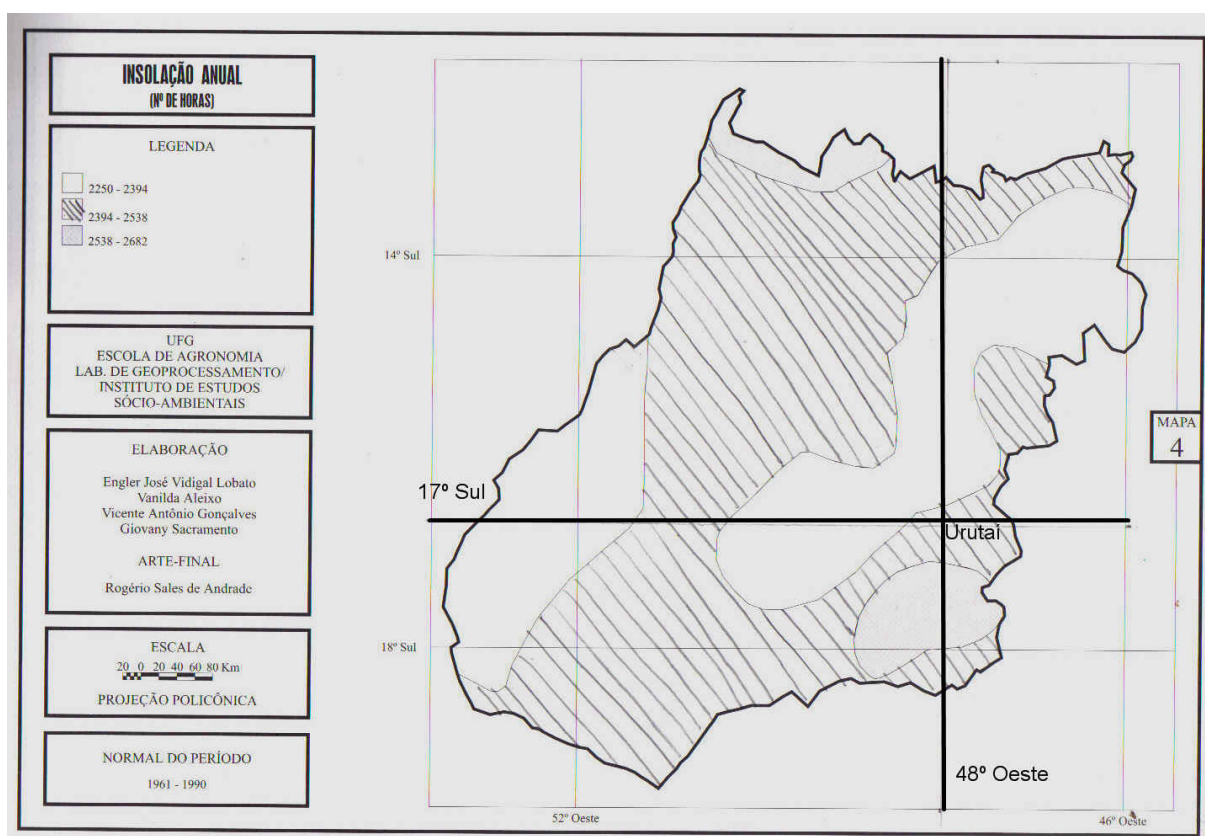


Figura 5.13: Horas de Insolação anual no Estado de Goiás

Fonte: Atlas Climatológico do Estado de Goiás 2002

Pela observação do mapa da Figura 5.13, pode ser observado que a média de horas insolação anual na cidade de Urutaí está entre 2394 horas a 2538 horas, ou seja, por dia em média o aproveitamento da luz solar está na faixa de 6,55 horas por dia a 6,95 horas por dia. Pode-se concluir que a geração de energia elétrica a partir do sol na cidade de Urutaí é superior a seis horas/dia.

Por fim, para terminar a parte referente aos parâmetros externos que envolvem a coleta de dados para a aferição dos resultados da célula fotovoltaica, a nebulosidade também se apresenta como um fator que pode influenciar nos resultados.

À medida que o céu fica coberto por nuvens, estas fazem com que os raios solares sejam refratados modificando diversas características da absorção, como por exemplo, a faixa do espectro luminoso.

Assim o mapa da Figura 5.14 apresenta a nebulosidade anual sobre o estado de Goiás, onde os valores presentes indicam a fração do céu coberto por nuvens.

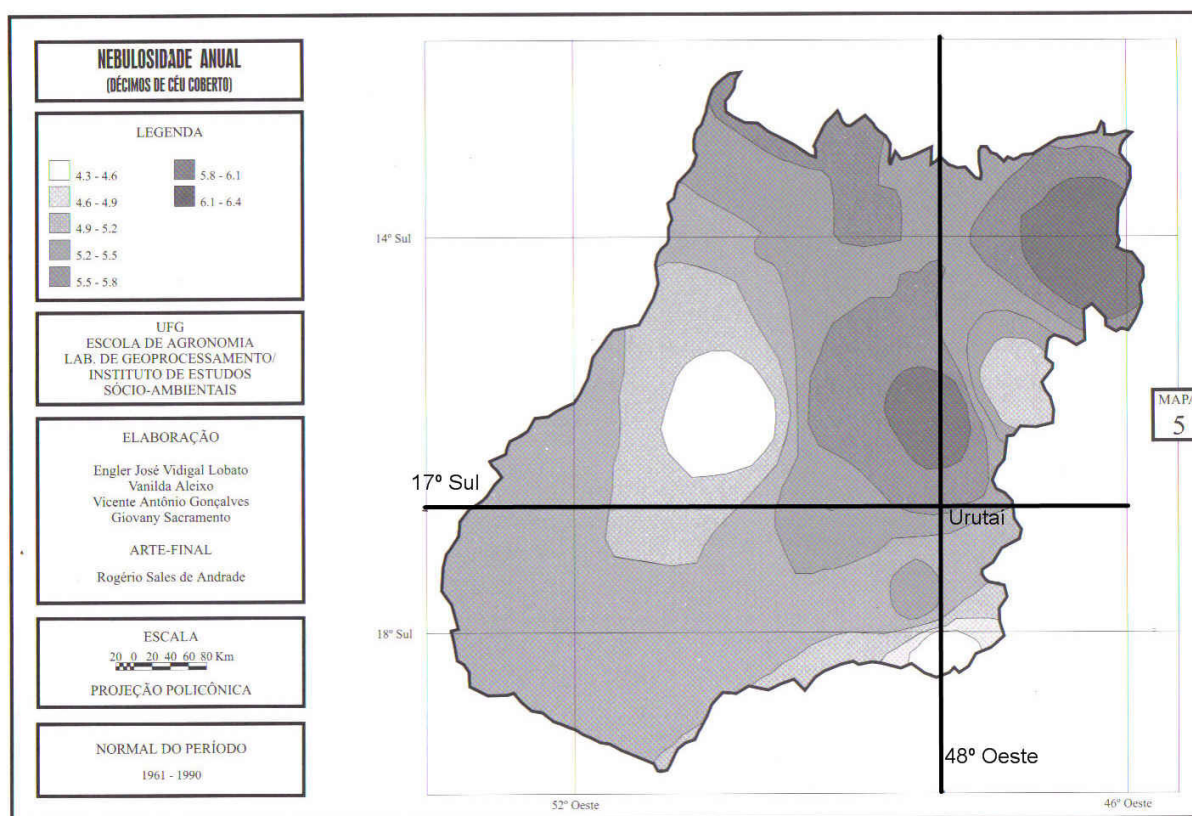


Figura 5.14: Fração do céu coberto por nuvens anualmente

Fonte: Atlas Climatológico do Estado de Goiás 2002

Pela observação do mapa presente na Figura 5.14, a fração do céu que fica coberto durante o ano por nuvens é de 5,5 a 5,8 décimos.

Baseado nos parâmetros externos apresentados, e com o auxílio do módulo fotovoltaico e demais equipamentos de aferição cedidos pelo CEFET de Urutaí para a realização deste trabalho, foi possível realizar um conjunto de medidas que comprovasse os resultados obtidos pelo modelo computacional.

Embora alguns parâmetros pudessem ser controlados, como número de células do painel solar, área das células do painel, temperatura (medida na ocasião da realização dos testes), outros fatores ficavam além do controle do pesquisador.

Esses parâmetros são, a dopagem das células do painel solar, a configuração do material utilizado para a ligação entre as células, a intensidade da radiação solar, o espectro da luz incidente entre outros.

Assim os resultados conseguidos são uma estimativa baseado em parâmetros comuns presentes na literatura, pois mesmo junto aos fabricantes não, foi possível obter essas informações.

Também foi utilizado conjuntamente para a realização das mediadas uma célula fotovoltaica de referência N° 8032 para a medição da radiação solar incidente. A configuração da célula fotovoltaica apresenta-se em anexo ao final deste trabalho.

Assim na Tabela 5.32 são apresentados os resultados comparativos entre a aferição no módulo fotovoltaico supracitado e da simulação do software de modelagem computacional.

Observando os resultados obtidos da Tabela 5.31, pode-se observar que mesmo não se conhecendo certos valores é possível conseguir resultados bem aproximados dos resultados de resposta do painel solar.

Tabela 5.31: Tabela comparativa entre os resultados do painel solar e a simulação realizada

Irradiação	Temp	Painel			Simulação			Resultado
		Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	
1000	35	19,00	2,10	39,90	18,96	2,05	38,99	2,28%
900	35	18,92	1,90	35,94	18,85	1,85	34,90	2,89%
800	35	18,81	1,71	32,17	18,74	1,64	30,85	4,10%
700	35	18,69	1,50	28,04	18,63	1,43	26,81	4,38%
600	35	18,56	1,29	23,95	18,49	1,23	22,80	4,80%

CAPÍTULO VI

Considerações Finais

6.1 Introdução

Neste capítulo será feito à síntese do trabalho realizado, assim como a discussão dos resultados encontrados e pontos de vista levantados, terminando com as conclusões e sugestões de trabalhos futuros e possíveis pesquisas envolvendo esse tema. Para isso esse capítulo estará dividido em duas seções, onde a primeira será destinada a discussão do tema e dos resultados obtidos em cada capítulo percorrendo os passos necessários para a elaboração do trabalho.

Na outra seção, são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

6.2 Discussão de resultados

O tema da pesquisa envolvendo o estudo de uma ferramenta computacional para a simulação do funcionamento e do comportamento das células fotovoltaicas apresentou-se como um grande desafio devido às características peculiares do problema, onde se destaca a necessidade do entendimento e compreensão de uma diversidade de temas necessários para a execução do mesmo.

A compreensão de temas complexos relacionados às ciências exatas como física, química, engenharia elétrica e ciência da computação se apresentaram como o alicerce da qual a construção do conhecimento é necessária para o desenvolvimento do trabalho que foi implantado.

Essa fundamentação, embora iniciada nas descobertas relatadas por Albert Einstein em

1905, atravessa os conceitos da teoria quântica, da interação da luz com a matéria, do comportamento dos átomos e elétrons quando submetidos a diferentes estímulos do mundo macroscópico como a temperatura e o magnetismo findando nas recentes pesquisas no século XXI sobre a compreensão do tempo de vida dos portadores minoritários nos semicondutores, como foi relatado no Capítulo II.

Essa fundamentação teórica foi de suma importância para o levantamento dos requisitos necessários ao software, assim como também evidenciou a evolução da pesquisa da energia solar sob diversos pontos de vista.

A estrutura interna do átomo e sua organização para a formação dos semicondutores base para a célula fotovoltaica, assim como também a modificação do comportamento de funcionamento por parte da interação com os dopantes utilizados, apresenta-se como uma incrível “*desordem racional*” que proporcionam uma infinidade de possibilidades de resposta para as mais diversas aplicações.

Essa “*desordem racional*”, em forma de matéria é descrita e transcrita na literatura em forma de equações matemáticas que visam fornecer ferramentas às pessoas para que estas possam compreender o meio ambiente que as cerca. Essas equações são apresentadas por todo este trabalho, mas principalmente no capítulo III, onde também são apresentados os algoritmos que tornaram possível a implementação dessa ferramenta computacional.

Assim, com a missão de trazer a tona o funcionamento das células solares baseadas em suas características físicas, este trabalho utilizou as mais modernas ferramentas de análise e desenvolvimento de software disponível no momento. O uso da plataforma *dot net* aliada à poderosa linguagem de programação *C#* apresentaram-se como importantes ferramentas para o rápido e preciso alcance dos resultados obtidos.

Embora que com a apresentação das fórmulas matemáticas e os algoritmos utilizados no Capítulo III seja perfeitamente possível à construção desse software em diversas outras linguagens, a filosofia de desenvolvimento de programas no *C#* aliada com as ferramentas apresentadas no Capítulo IV se mostram de grande eficiência na confecção desse produto, assim como também na apresentação dos resultados tanto em forma de gráfico quanto numérica.

A apresentação de diversos exemplos usando o software desenvolvido visa salientar a versatilidade que o usuário irá ganhar ao fazer uso de uma ferramenta computacional, seja para facilitar a compreensão do funcionamento das células fotovoltaicas, seja na pesquisa de novos materiais e dopantes utilizados na confecção da mesma ou no planejamento de configurações alternativas tanto para células fotovoltaicas quanto para os módulos de

captação, seja esse usuário um estudante, pesquisador ou um profissional da área que possua um pequeno entendimento no assunto poderá utilizar o software sem problemas.

A validação dos resultados por meio de equipamentos reais, em condições reais de funcionamento certifica um maior grau de fidelidade nos resultados obtidos, embora se saiba que estimativas e aproximações são necessários para suprir a falta de controle de alguns parâmetros que independem da vontade do pesquisador.

6.3 Conclusão

O estudo de fontes renováveis de energia vem se apresentando como um dos grandes temas para a economia mundial, pois diversos fatores envolvem a sua utilização.

Como mencionado anteriormente, um dos principais fatores é a questão ambiental, onde é cada vez mais notória a preocupação das nações com medidas e políticas que visem a preservação dos recursos naturais do planeta sem o comprometimento da economia e da possibilidade de crescimento dos mesmos, aliado a distribuição de riquezas entre os indivíduos da nação a partir da geração de energia limpa, a baixo custo de implantação e manutenção.

Assim, a compreensão e o domínio da tecnologia da energia fotovoltaica são essenciais para o planejamento estratégico do governo brasileiro no que diz respeito a esse tema. Isso por que embora o Brasil possua uma das mais fantásticas condições geográficas para a implantação desse tipo de tecnologia no mundo, ela permanece longe do alcance da maioria da população, a um elevado custo de acesso.

Da mesma forma, o dispendioso custo com pesquisas envolvendo o desenvolvimento de tecnologia nesse campo apresenta-se como uma barreira evidente para o completo domínio e uso desse tipo de fonte de energia.

É nesse sentido que esse trabalho se apresenta como de destaque, pois permite a simulação do comportamento de células fotovoltaicas, minimizando a utilização de recursos como o tempo, materiais, equipamentos, mão de obra e principalmente recursos financeiros.

Como já fora mencionado, no Capítulo V existe uma seção destinada a verificação dos resultados simulados com produtos disponíveis ao público consumidor. Embora essas medidas sejam feitas por estimativas, o fato do software responder de maneira tão próxima à realidade o qualifica como uma ferramenta de auxílio na compreensão dessa fantástica tecnologia.

Fica evidente que um software para a modelagem computacional de células

fotovoltaicas passa a ser uma ferramenta indispensável na pesquisa de novos materiais, nova configurações e previsão de comportamento sob diversos cenários de atuação, assim como ocorre em diversos setores da indústria mundial.

Um exemplo disso é a indústria aeronáutica, que se utiliza simuladores para treinamento de pilotos e verificação de possíveis falhas nos equipamentos. A indústria automobilística, onde a durabilidade dos materiais é testada em modelos computacionais de forma que seja atendida o binômio leveza e resistência, entre tantas outras de destaque no cenário mundial.

Com a utilização do modelo computacional para a determinação do comportamento das células fotovoltaicas a partir de suas características físicas, pode-se prever a redução gradual dos custos envolvendo pesquisa e desenvolvimento, assim como também a democratização do conhecimento sobre esse tema.

Para sugestões de trabalhos futuros, que servirão tanto para complementar a gama de informações sobre a energia fotovoltaica como partir para novos e inexplorados campos de pesquisa está o desenvolvimento de um modelo dinâmico que forneça a resposta das células fotovoltaicas a partir da carga a qual a mesma é submetida.

O desenvolvimento de uma ferramenta computacional que explore as células multicamadas e o estudo da utilização de novos materiais como é o caso de polímeros e materiais com base orgânica.

Assim como a informática é uma ciência “*meio*” que visa dar suporte e condições para o desenvolvimento de outras ciências, aliado a importância do tema que se refere à geração de energia elétrica a partir de uma fonte de energia renovável e inesgotável, com possíveis aplicações tanto no campo econômico/estratégico, como no campo social, é por si só remetido a sua importância como ferramenta de pesquisa sobre tão nobre tema que é a energia fotovoltaica.

Referências Bibliográficas

BASSALO, José Maria Filardo. *Albert Einstein: Um dos maiores sábios do século XX*. Documento eletrônico disponível em <<http://www.bassalo.com.br>> acessado em 05/10/2005.

BRADY, James E. et. al. *Chemistry Matter and Its Changes*. 3^a ed. John Wiley & Sons. Inc. 2000.

BRUM, José Antônio, *Ligação química em semicondutores*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Física 1983.

CISZEK, Theodore.F. et al. *Some Effects of Crystal growth parameters on minority carrier lifetime in float-zoned silicon*. J. Electrochem. Soc. 136. 1989.

_____. *Growth and properties of silicon filaments for photovoltaic applications*. in 26 th IEEE photovoltaic specialist conf record, anaheim, CA, sept. 29 - oct. 3, 1997. (IEEE New Jersey, 1997) pp. 103 - 106.

_____, WANG T. H. *Float-zone pedestal growth of thin silicon filaments*, in Hight Purity silicon V, eds. C.L. Claeys, P. Rai-Choudhury, M. Watanabe, P. Stallhofer and H.J Dawson (the electrochemical soc., proceedings volume 98-13, New Jersey, 1998) pp. 85 -89.

GOBBI, Ângelo Luis. *Estudo do Silício amorfo Hidrogenado (a-Si,H) aplicado a fabricação de células fotovoltaicas*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Física.

GOSTINELLI, Guido. et al. *Screen Printed Large Area Crystalline Silicon Solar Cells on Thin Substrates*. Bélgica. Documento eletrônico disponível em <www.imec.be/wwwinter/energy/FILES/Guido2.pdf> acessado em 15/09/2005.

GRANDI, Gabriele, SANCINETO, Giuseppe. *Hardware modeling of Photovoltaic panels*. University of Bologna. Department of Electrical Engineering.

GRIFFITHS, D.V. SMITH I.M. *Numerical Methods for Engineers – A Programming Approach*. Blackwell Scientific Publications 1991.

HUMMEL, Rolf E. *Electronic Properties of Materials*. 3^a ed. Springer 2001.

JACKSON M. et al. *Mensurement of internal quantum efficiency and surface recombination velocity in InGaN structures*. University of California. 1997.

LEE, Youn Jung. GRAY, Jeffery L. *Numerical Modeling of CdS/CdTe Solar Cells: A Parameter Study*. Purdue University. School of Electrical Engineering. 1991.

LOBATO, Engler José Vidigal. et. al. *Atlas Climatológico do Estado de Goiás*. Universidade Federal de Goiás. Editora da UFG. Goiânia. 2002.

LORENZO, Eduardo. *Electricidad Solar – Ingenieria de los Sistemas Fotovoltaicos*. Progenza 1994.

MAH, Olivia. *Fundamentals of Photovoltaic Materials*. NSPRI - National Solar Power Research Institute, Inc. 1998. Documento eletrônico disponível em <<http://userwww.sfsu.edu/~ciotola/solar/pv.pdf>> acessado em 05/10/2005.

MARTINO, João Antônio. et al. *Caracterização Elétrica de Tecnologia e Dispositivos MOS*. Editora Thomson. São Paulo. 2003.

MESSENGER, Roger. VENTRE, Jerry. *Photovoltaic Systems Engineering*. CRC Press 2000.

MOORE, J.T. et al. *Fused-salt electrodeposition of thin-layer silicon*. in 26 th IEEE photovoltaic specialist conf. record anaheim, CA, sept. 29 - oct 3, 1997 (IEEE, New Jersey) pp. 775-778.

NELSON, Jenny. *The Physics of Solar Cells*. Imperial College, Uk 2003.

OMAN, Daniel M. et al. *Device Performace Characterization and Modeling of Recombination Current in CdTe/CdS pn Junction Diodes*. University of South Florida. Eletrical Engineering Departament.

PAJACZKOWSKA, Anna. *Professor Dr. Jan Czocharlski - an inventor*. Institute of Eletronic Materials Technology. Poland. Documento Eletrônico disponível em <<http://www.ptwk.org.pl/pol/documents/dgkk73.pdf>> acessado em 05/10/2005.

PAN, Junyou, HAARER, Dietrich. *Numeric modeling of the photogeneration of the free charge carries*. Chemical Physics Letters. 2000. disponível em <[http://netserv.ipc.uni-linz.ac.at/~dieter/DsWeb/Lit/MOSC/CPL324\(00\)411_Haarer.pdf](http://netserv.ipc.uni-linz.ac.at/~dieter/DsWeb/Lit/MOSC/CPL324(00)411_Haarer.pdf)> acessado em 03/06/2005.

PANKOVE, Jacques I. *Optical Processes in Semiconductors*. Dover Publications, Inc. New York 1975.

PATEL, Mukund R. *Wind and Solar Power Systems*. CRC Press 2000.

PRADO, Rogério Junqueira. *Propriedades Químicas e Morfológicas de Filmes Hidrogenados de Carbetto de Silício Amorfo*. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Instituto de Física. 1997.

QUASCHNING, V. HANITSCH, R. *Numerical Simalation of Photovoltaic Generators with Shaded Cells*. Berlin University of Tecnology. Eletrical Machines Institute. 1955.

REIS, Françoise Toledo. *Fotocondutividade em α -Ge:H dopado com elementos da coluna III A da Tabela Periódica*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Física. 1997.

SABBAH, A. J., RIFFE, D. M. *Measurement of Silicon surface recombination velocity using ultrafast pump-probe reflectivity in the near infrared*. Utah State University. Physics Department. 2000.

SEALE, Eric. *The Photovoltaic Effect*. Documento eletrônico disponível em <<http://encyclobeamia.solarbotics.net/articles/photovoltaic.html>> acessado em 05/10/2005.

_____. *Solar Cell*. Documento eletrônico disponível em <http://encyclobeamia.solarbotics.net/articles/solar_cell.html> acessado em 05/10/2005.

SILVA Jr. E.F. da, et al. *Dynamics of SiO₂/SiO_x/Si Multilayer growth and interfacial effects on silicon quantum well confinement properties*. Materials science & Engineering. 2000 p 188 – 192.

SHUBERT E. F. *Refractive Index and Extinction Coefficient of Materials*. 2004. Documento eletrônico disponível em <<http://www.rpi.edu/~schubert/Educational%20resources/Materials%20refractive%20index%20and%20extinction%20coefficient.pdf>> acessado em 05/06/2005.

SOUSA, J.S. et al. *The influence of graded interfaces in the eletrônica spectrum of nanometer silicon dots*. applied surface science. 2002 p 166 – 170.

SWART, Jacobus W. *Conceitos Básicos para Semicondutores*. Documento eletrônico disponível em <<http://www.fisicanet.terra.com.br/eletronica/Conceitos%20B%20E1sicos%20para%20Semicondutores.pdf>> acessado em 08/06/2005.

_____. *Materiais Elétricos*. Documento eletrônico disponível em <<http://www.fisicanet.terra.com.br/eletronica/Estruturas%20de%20Dispositivos%20Semicondutores.pdf>> acessado em 09/06/2005.

TIPLER, Paul A. *Physics for Scientists and Engineers*. 3^a ed. Extended Version. Worth Publishers, Inc. New York USA 1991.

WATSON, Karli et al, *Beginning C# Programando*. Editora Makron Books. 2002

SHARPDEVELOP @IC#CODE. Site onde está disponível o compilador da linguagem C# sitiado em: < <http://www.icsharpcode.net/OpenSource/SD/> > acessado em 05/05/2005.

ANEXOS

AGO 2005

Projeto de Revisão ABNT NBR 10899

Energia Solar Fotovoltaica – Terminologia

Origem: 1º Projeto de Revisão ABNT NBR 10899:1988

ABNT/CB-03 - Comitê Brasileiro de Eletricidade

CE-03:082.01 - Comissão de Estudo de Sistemas de Conversão Fotovoltaica de Energia Solar

ABNT NBR 10899 - Photovoltaic Solar Energy - Terminology

Descriptors: Photovoltaic

Esta Norma substitui a ABNT NBR 10899:1998

Palavras-chave: Conversão Fotovoltaica

08 páginas

Prefácio

A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os Projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos ABNT/CB e ABNT/ONS, circulam para Consulta Pública entre os associados da ABNT e demais interessados.

0 Objetivo

0.1 Esta Norma define os termos técnicos relativos à conversão fotovoltaica de energia radiante solar em energia elétrica.

0.2 Esta Norma não inclui os termos gerais de eletricidade, que são definidos na ABNT NBR 5456:1987 (TB19-01).

1 Referências Normativas

As normas relacionadas a seguir contêm disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem prescrições para esta Norma. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisão, recomenda-se àqueles que realizam acordos com base nesta que verifiquem a conveniência de se usarem as edições mais recentes das normas citadas a seguir. A ABNT possui informação das normas em vigor em um dado momento.

ABNT NBR 5456:1987 (TB19-01) - Eletricidade Geral - Terminologia

2 Definições

2.1 Na utilização das definições desta Norma, deve ser entendido que cada termo é definido de acordo com a sua aplicação no campo abrangido pelo item 1 Objetivo, não se cogitando de que o termo possa ter acepções diferentes em outros campos de atividades.

2.2 Para os efeitos desta Norma, aplicam-se as definições da ABNT NBR5456:1987 e as seguintes:

2.3 Célula Solar ou Célula Fotovoltaica

Dispositivo fotovoltaico elementar especificamente desenvolvido para realizar a conversão direta de energia solar em energia elétrica.

2.4 Módulo Fotovoltaico

Unidade básica formada por um conjunto de células solares, interligadas eletricamente e encapsuladas, com o objetivo de gerar energia elétrica sendo representado pelo símbolo abaixo, onde o triângulo indica o pólo positivo:



2.5 Painel Fotovoltaico

Um ou mais módulos fotovoltaicos interligados eletricamente, montados de modo a formar uma única estrutura.

2.6 Arranjo ou Gerador Fotovoltaico

Um ou mais painéis fotovoltaicos interligados eletricamente de modo a prover uma única saída de corrente elétrica.

2.7 Sistema Fotovoltaico

Conjunto de elementos composto de arranjo(s) fotovoltaico(s), podendo incluir: dispositivos para controle, condicionamento, supervisão, proteção e armazenamento de energia elétrica; fiação; fundação e estrutura de suporte. O termo em inglês BOS (*Balance of System*) se refere ao sistema fotovoltaico não incluindo os módulos fotovoltaicos.

2.8 Concentrador Solar

Montagem que inclui componentes ópticos, como espelhos ou lentes, para concentrar a radiação solar sobre células solares.

2.9 Módulo Fotovoltaico Concentrador

Dispositivo constituído por células solares integradas a um concentrador solar.

2.10 Rastreador Solar

Mecanismo que proporciona o seguimento do movimento aparente do Sol.

2.11 Área Total da Célula Solar

Superfície de uma célula solar limitada por seu perímetro, simbolizada por " A_{CT} ".

2.12 Área Ativa da Célula Solar

Superfície de uma célula solar que recebe radiação solar, simbolizada por " A_{CA} ".

2.13 Área Total do Módulo

Superfície frontal do módulo, incluindo a moldura externa ou qualquer outra protuberância, como por exemplo, rebite. É simbolizada por " A_{MT} " sendo também denominada "Face iluminada" ou "Superfície iluminada".

2.14 Área das Células do Módulo

Área total de uma célula individual multiplicada pelo número de células (n) do módulo, simbolizada por " A_{CM} ", sendo:

$$A_{CM} = n \cdot A_{CT}$$

2.15 Fator de Ocupação ou de Preenchimento do Módulo

Razão entre a área das células do módulo " A_{CM} " e a área total do módulo " A_{MT} ", especificado na forma de porcentagem e simbolizado por "FO", sendo:

$$FO (\%) = (A_{CM} / A_{MT}) \cdot 100\%$$

2.16 Radiação Solar

Forma de transferência de energia advinda do Sol, através da propagação de ondas eletromagnéticas ou fótons.

2.17 Irradiância Solar

Taxa na qual a radiação solar incide em uma superfície, por unidade de área desta superfície, normalmente medida em W/m^2 e simbolizada por "G".

2.18 Irradiância Direta

Irradiância solar incidente em uma superfície, sem ter sido espalhada pela atmosfera, podendo ser normal ou horizontal, sendo simbolizada por " G_{DIR} ". A irradiância direta horizontal tem que considerar o cosseno do ângulo de incidência (ver item 3.36).

2.19 Irradiância Difusa

Potência radiante do céu, recebida em uma unidade de área em uma superfície horizontal, excluída a irradiância direta, sendo simbolizada por " G_{DIF} ".

2.20 Irradiância Global

Potência radiante solar, recebida em uma unidade de área em uma superfície horizontal, simbolizada por “ G_{HOR} ”, sendo igual à irradiância direta mais a irradiância difusa.

2.21 Albedo

Índice relativo à fração da energia radiante solar, recebida em uma unidade de área, devida à refletância dos arredores e do solo onde está instalado um dispositivo, sendo a irradiância devida ao albedo simbolizada por “ G_{ALB} ”.

2.22 Irradiância Total

Potência radiante solar total com as componentes direta, difusa e de albedo, recebida em uma unidade de área em uma superfície com inclinação qualquer, simbolizada por “ G_{TOT} ”.

2.23 Distribuição Espectral da Irradiância

Valores de irradiância correspondentes a cada comprimento de onda do espectro solar.

2.24 Irradiação Solar

Irradiação solar integrada durante um intervalo de tempo especificado, normalmente uma hora ou um dia, medida em Wh/m^2 ou J/m^2 , sendo simbolizada por “I” quando integrada no tempo de uma hora, ou por “H” quando integrada no tempo de um dia.

2.25 Irradiação Direta

Irradiação direta integrada durante um intervalo de tempo especificado, normalmente uma hora ou um dia, simbolizada por “ I_{DIR} ” ou “ H_{DIR} ”.

2.26 Irradiação Difusa

Irradiação difusa integrada durante um intervalo de tempo especificado, normalmente uma hora ou um dia, simbolizada por “ I_{DIF} ” ou “ H_{DIF} ”.

2.27 Irradiação Global

Irradiação global integrada durante um intervalo de tempo especificado, normalmente uma hora ou um dia, simbolizada por “ I_{HOR} ” ou “ H_{HOR} ”.

2.28 Irradiação Total

Irradiação total integrada durante um intervalo de tempo especificado, normalmente uma hora ou um dia, simbolizada por “ I_{TOT} ” ou “ H_{TOT} ”.

2.29 Temperatura Nominal de Operação da Célula

Temperatura média de equilíbrio da célula solar encapsulada em um módulo, em um ambiente com irradiância de $800W/m^2$, temperatura ambiente de $20^{\circ}C$, velocidade do vento de $1m/s$ e em circuito aberto, sendo usualmente designada pela sigla “NOCT”, do inglês “Nominal Operating Cell Temperature”.

2.30 Corrente de Curto-Circuito

Corrente de saída de um conversor fotovoltaico, na condição de curto-circuito e para valores preestabelecidos de temperatura e irradiância total, simbolizada por “ I_{SC} ”, do inglês “Short Circuit Current”.

2.31 Tensão de Circuito Aberto

Tensão gerada através de um conversor fotovoltaico sem carga (aberto), para valores preestabelecidos de temperatura e irradiância total, simbolizada por “ V_{OC} ”, do inglês “Open Circuit Voltage”.

2.32 Curva Característica

Representação dos valores da corrente de saída de um conversor fotovoltaico, em função da tensão, para condições preestabelecidas de temperatura e de irradiância total, também conhecida por curva I-V.

2.33 Potência Máxima

Potência em um ponto da curva característica de um conversor fotovoltaico, onde o produto da corrente pela tensão é máximo, no quadrante de geração, simbolizada por “ P_{MP} ”.

2.34 Eficiência de Conversão Fotovoltaica

Razão entre a potência máxima fornecida e o produto da área do módulo, ou da célula, pela irradiância total, para valores preestabelecidos de temperatura, especificada na forma de porcentagem, simbolizado por “ η ” e calculada pela expressão:

$$\eta(\%) = \frac{P_{MP}}{(A_{MT} \cdot ou \cdot A_{CT}) \cdot G_{TOT}} \cdot 100\%$$

2.35 Fator de Forma

Razão entre a potência máxima e o produto da tensão de circuito aberto pela corrente de curto-circuito, relativos à mesma curva característica, especificado na forma de porcentagem, simbolizado por “FF”, do inglês “Fill Factor”, e calculado por:

$$FF(\%) = \frac{P_{MP}}{V_{OC} \cdot I_{SC}} \cdot 100\%$$

2.36 Ângulo de Incidência

Ângulo entre o raio solar incidente (direção do Sol) e a normal à superfície da célula ou do módulo, simbolizado por “ θ ”.

2.37 Ângulo Zenital

Ângulo de vértice no observador, formado pelas semi-retas definidas pela direção do Sol e a vertical, simbolizado por “ θ_z ”.

2.38 Massa de Ar

Razão entre o caminho ótico percorrido pelos raios solares na atmosfera e o caminho vertical na direção de zênite ao nível do mar, simbolizada por “AM” do inglês “Air Mass”, podendo ser aproximada pela equação:

$$AM = 1 / \cos \theta_z, \text{ para } \theta_z \leq 70^\circ$$

2.39 Elevação ou Altura Solar

Ângulo de vértice no observador, formado pelas semiretas definidas pela direção do Sol e a projeção da direção do Sol no plano horizontal, simbolizada por “ α ”.

2.40 Declinação Solar

Ângulo de vértice no centro da Terra, formado pelas semiretas definidas pela direção do Sol e pelo plano do Equador, simbolizado por “ δ ”, com faixa de variação $-23,45^\circ \leq \delta \leq +23,45^\circ$ e, por convenção, positivo quando estiver no hemisfério Norte.

2.41 Ângulo Horário Solar

Ângulo diedro com aresta no eixo de rotação da Terra, formado pelo semiplano que contém o Sol e o semiplano que contém o meridiano local, simbolizado por “ ω ”, com faixa de variação $-180^\circ \leq \omega \leq +180^\circ$ e, por convenção, positivo no período da tarde.

2.42 Inclinação de uma Superfície

Ângulo de menor declive entre a superfície e o plano horizontal, simbolizada por “ β ” e faixa de variação $0^\circ \leq \beta \leq +90^\circ$.

2.43 Ângulo Azimutal de uma Superfície

Ângulo entre o norte geográfico e a projeção da reta normal à superfície no plano horizontal, simbolizado por “ γ ”, com faixa de variação $-180^\circ \leq \gamma \leq +180^\circ$ e, por convenção, positivo no sentido leste com norte igual a 0° .

2.44 Ângulo Azimutal do Sol

Ângulo entre o norte geográfico e a projeção do raio solar (direção do Sol) no plano horizontal, simbolizado por “ γ_s ”, com faixa de variação $-180^\circ \leq \gamma_s \leq +180^\circ$ e, por convenção, positivo no sentido leste com norte igual a 0° .

2.45 Condições Padrão de Referência para Ensaio

Temperatura de junção da célula em 25°C , irradiância total de 1000W/m^2 normal à superfície de ensaio e espectro AM1,5, sendo simbolizada por “STC”, do inglês “Standard Test Conditions”.

2.46 Célula ou Módulo de Referência

Célula ou módulo fotovoltaico, com curva I-V medida sob condições padrão de referência para ensaio.

2.47 Resposta Espectral

Densidade de corrente de curto-circuito por comprimento de onda, ao longo do espectro solar.

2.48 Potência de Pico

Potência nominal de saída de um conversor fotovoltaico, sob as condições padrão de referência para ensaio, sendo a unidade simbolizada por “ W_p ”.

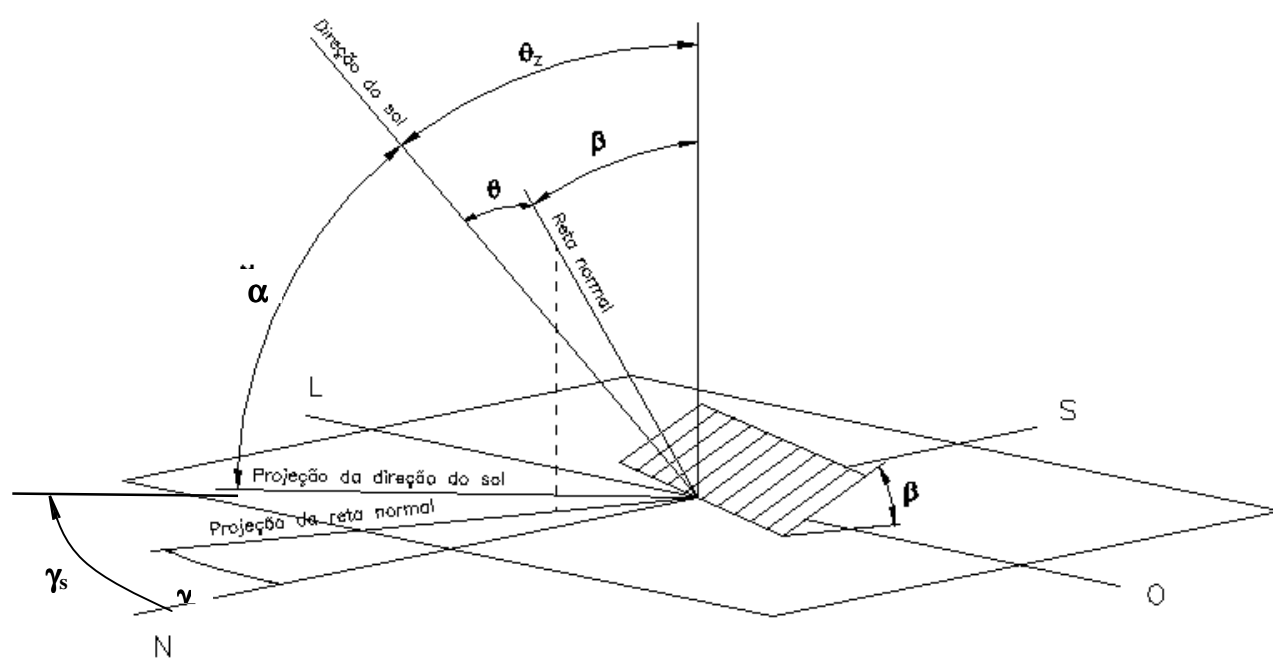
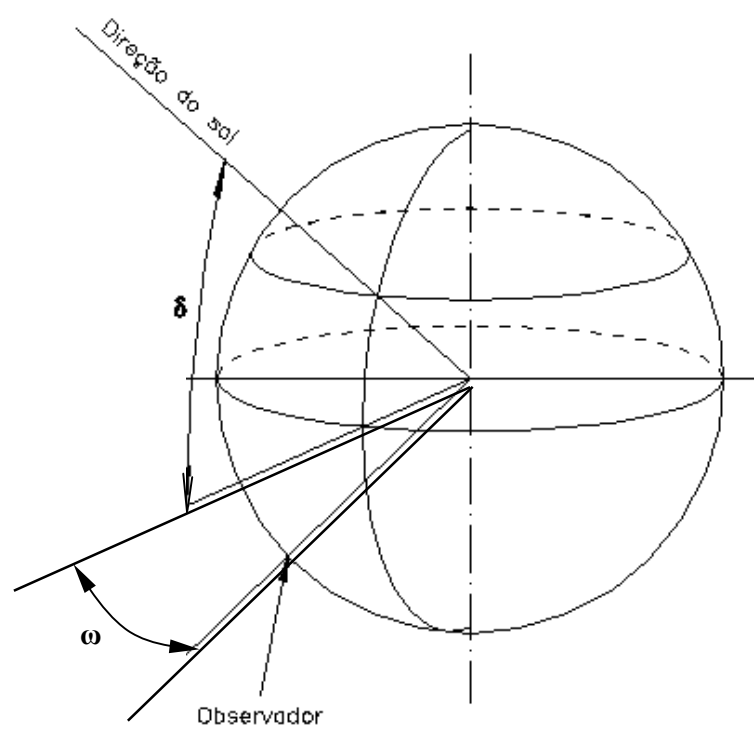


Tabela - Composição espectral da irradiância solar direta normal para AM 1,5 (ASTM G 159-98)

λ = Comprimento de onda (μm)

GDIR_{λ} = Irradiância solar direta normal, no comprimento de onda λ (W/m^2).

$\text{GDIR}_{0 \rightarrow \lambda}$ = Irradiância solar direta normal, integrada na faixa de comprimento de onda de 0 até λ (W/m^2).

F_{λ} = Fração da irradiância solar direta normal, integrada desde $\lambda=0,3050\mu\text{m}$ até o comprimento de onda λ .

NOTA – A quantidade de radiação solar que chega à superfície da terra é insignificante para comprimentos de onda abaixo de $0,3\mu\text{m}$.

λ	GDIR_{λ}	$\text{GDIR}_{0 \rightarrow \lambda}$	F_{λ}	λ	GDIR_{λ}	$\text{GDIR}_{0 \rightarrow \lambda}$	F_{λ}
0,3050	3,4	0,02	0,0000	0,9800	549,7	518,10	0,6743
0,3100	15,6	0,07	0,0001	0,9935	630,1	526,06	0,6847
0,3150	41,1	0,21	0,0003	1,0400	582,9	554,26	0,7214
0,3200	71,2	0,49	0,0006	1,0700	539,7	571,10	0,7433
0,3250	100,2	0,92	0,0012	1,1000	366,2	584,69	0,7610
0,3300	152,4	1,55	0,0020	1,1200	98,1	589,33	0,7670
0,3350	155,6	2,32	0,0030	1,1300	169,5	590,67	0,7688
0,3400	179,4	3,16	0,0041	1,1370	118,7	591,68	0,7701
0,3450	186,7	4,08	0,0053	1,1610	301,9	596,73	0,7767
0,3500	212,0	5,07	0,0066	1,1800	406,8	603,46	0,7854
0,3600	240,5	7,34	0,0095	1,2000	375,2	611,28	0,7956
0,3700	324,0	10,16	0,0132	1,2350	423,6	625,26	0,8138
0,3800	362,4	13,59	0,0177	1,2900	365,7	646,96	0,8421
0,3900	381,7	17,31	0,0225	1,3200	223,4	655,80	0,8536
0,4000	556,0	22,00	0,0286	1,3500	30,1	659,60	0,8585
0,4100	656,3	28,06	0,0365	1,3950	1,4	660,31	0,8594
0,4200	690,8	34,80	0,0453	1,4425	51,6	661,57	0,8611
0,4300	641,9	41,46	0,0540	1,4625	97,0	663,06	0,8630
0,4400	798,5	48,66	0,0633	1,4770	97,3	664,46	0,8648
0,4500	956,6	57,44	0,0748	1,4970	167,1	667,11	0,8683
0,4600	990,0	67,17	0,0874	1,5200	239,3	671,78	0,8744
0,4700	998,0	77,12	0,1004	1,5390	248,8	676,42	0,8804
0,4800	1046,1	87,34	0,1137	1,5580	249,3	681,15	0,8866
0,4900	1005,1	97,59	0,1270	1,5780	222,3	685,87	0,8927
0,5000	1026,7	107,75	0,1402	1,5920	227,3	689,01	0,8968
0,5100	1066,7	118,22	0,1539	1,6100	210,5	692,95	0,9019
0,5200	1011,5	128,61	0,1674	1,6300	224,7	697,31	0,9076
0,5300	1084,9	139,89	0,1810	1,6460	215,9	700,83	0,9122
0,5400	1082,4	149,93	0,1951	1,6780	202,8	707,53	0,9209
0,5500	1102,2	160,85	0,2094	1,7400	158,2	718,72	0,9355
0,5700	1087,4	182,75	0,2379	1,8000	28,6	724,33	0,9428

0,5900	1024,3	203,87	0,2653	1,8600	1,8	725,24	0,9439
0,6100	1088,8	225,00	0,2928	1,9200	1,1	725,32	0,9441
0,6300	1062,1	246,51	0,3208	1,9600	19,7	725,74	0,9446
0,6500	1061,7	267,74	0,3485	1,9850	84,9	727,05	0,9463
0,6700	1046,2	288,82	0,3759	2,0050	25,0	728,15	0,9477
0,6900	859,2	307,88	0,4007	2,0350	92,5	729,91	0,9500
0,7100	1002,4	326,49	0,4249	2,0650	56,3	732,14	0,9529
0,7180	816,9	333,77	0,4344	2,1000	82,7	734,57	0,9561
0,7244	842,8	339,08	0,4413	2,1480	76,2	738,39	0,9611
0,7400	971,0	353,23	0,4597	2,1980	66,4	741,95	0,9657
0,7525	956,3	365,27	0,4754	2,2700	65,0	746,68	0,9719
0,7575	942,2	378,82	0,4816	2,3600	57,6	752,20	0,9790
0,7625	524,8	373,69	0,4864	2,4500	19,8	755,68	0,9836
0,7675	830,7	377,08	0,4908	2,4940	17,0	756,49	0,9846
0,7800	908,9	387,95	0,5049	2,5370	3,0	756,92	0,9852
0,8000	873,4	405,77	0,5281	2,9418	4,0	758,34	0,9870
0,8160	712,0	418,46	0,5446	2,9730	7,0	758,51	0,9872
0,8237	660,2	423,74	0,5515	3,0050	6,0	758,72	0,9875
0,8315	765,5	429,30	0,5580	3,0560	3,0	758,95	0,9878
0,8400	799,8	435,95	0,5674	3,1320	5,0	759,25	0,9882
0,8600	815,2	452,10	0,5884	3,1560	18,0	759,53	0,9886
0,8800	778,3	468,04	0,6092	3,2040	1,2	759,99	0,9892
0,9050	630,4	485,65	0,6321	3,2450	3,0	760,08	0,9893
0,9150	565,2	491,62	0,6399	3,3170	12,0	760,62	0,9900
0,9250	586,4	497,38	0,6474	3,3440	3,0	760,82	0,9902
0,9300	348,1	499,72	0,6504	3,4500	12,2	761,62	0,9913
0,9370	224,2	501,72	0,6530	3,5730	11,0	763,05	0,9932
0,9480	271,4	504,45	0,6566	3,7650	9,0	764,97	0,9957
0,9650	451,2	510,59	0,6646	4,0450	6,9	767,20	0,9986
				>4,0450		768,31	1,0000

Manual de execução rápida do programa de modelagem computacional.

Ao iniciar o programa a tela de inserção de dados é apresentada, conforme a Figura A1.

Figura A1: Tela de Entrada de Dados

Nessa tela o primeiro passo do usuário é escolher o tipo semicondutor base no quadro de propriedades químicas clicando em seguida no botão de OK. Assim os dados referentes ao semicondutor escolhido serão carregados no quadro de propriedades químicas como indicado na Figura A2.

Entrada de Dados		Absorção	Fótons	Gráfico Alpha	Corrente Intrínseca	Componentes da Fotocorr
Propriedades Químicas						
Escolha o Elemento						
Silício (Si) ▼		Ok				
Número Atômico	14	Estrut. do Cristal	Diamante			
Grupo:	IV - A	Tipo do Gap	Indireto			
EletroNegatividade	4,15	Cte. Lattice	5,43095			
Energia Gap	1,12	DOS CV	2,8e19			
Concentração ni	1,18e10	DOS CC	1e19			
Densidade Atômica	5e22	Mobilidade Elétron	1500			
Mass. efet. Elétron	1,18	Mobilidade Lacuna	450			
Mass. efet. Lacuna	0,81	T. Port. Minoritário	1e-6			
Cte. Dielétrica	11,2	Índice de Refração	3,3			
E. Cinética Média	1	Cte. de Difusão Ele	39			
Momento do Eletro	1,46622509868028	Cte. de Difusão Lac	12			
Cte. Geração	1,8e-15	Permissividade	11,7			

Figura A2: Quadro de Propriedades Químicas

Como pode ser observado, o elemento base para o semiconductor que foi escolhido foi o silício, e suas propriedades carregadas no quadro de propriedades químicas.

Posteriormente o usuário irá escolher qual o tipo de dopante utilizado no semiconductor tipo N e a sua concentração clicando no botão OK, da mesma forma o usuário irá escolher qual é o dopante para o semiconductor tipo P e qual a sua concentração clicando no botão OK, ambos os resultados serão apresentados no quadro de Dopantes.

O nível energético dos dopantes irá alterar o campo da Energia Gap do quadro de Propriedades químicas. A Figura A3 apresenta o quadro de Dopantes.

Dopantes

Escolha o Elemento (dopante N)

Fósforo (P) [v] [Ok]

Nível de Energia introduzido $E_c - E_d$

0,045

5e14 Concentração

Escolha o Elemento (dopante P)

Bóro (B) [v] [Ok]

Nível de Energia introduzido $E_a - E_v$

0,045

1e13 Concentração

Figura A3: Quadro de Dopantes

Uma vez determinado o tipo de elemento utilizado no semiconductor base e os elementos e a concentração utilizados para formar o semiconductor tipo N e tipo P, o usuário irá caracterizar o ambiente de análise através do quadro Parâmetros de Análise, onde inicialmente serão escolhidos a faixa do espectro a ser analisada em nm podendo inserir valores na faixa de 310 nm a 1200 nm.

Posteriormente será introduzido a intensidade de radiação luminosa direta, seguida da temperatura do sistema em °C e da configuração da célula solar em termos de espessura do semiconductor tipo N, espessura do semiconductor tipo P e da área da célula fotovoltaica. Após o preenchimento do quadro de Parâmetros de Análise, o usuário deve clicar no botão USAR, para que os dados sejam utilizados nos cálculos do programa. A Figura A4 apresenta o quadro de Parâmetros de Análise.

Após clicar no botão USAR, uma mensagem na tela indicará que o programa está com os dados carregados e que está pronto para iniciar os cálculos necessários.

Parametros de Análise

Comprimento de onda incidente em nm

Mínimo

400

Máximo

700

Intensidade Luminosa em Joules

W/m2

100

Temperatura do sistema em °C

°C

25

Espessura do semiconductor tipo N

em nm

0,2

Espessura do semiconductor tipo P

em nm

300

Área da Célula

em Cm

100

Usar

Figura A4: Quadro de Parâmetros de Análise

Com os dados inseridos no programa, o usuário irá passar para a aba denominada FÓTONS, onde será calculada a frequência da onda incidente, energia dos fótons incidentes número de fótons, número de onda e o momento do fóton. Em cada grupamento existe um botão INCLUIR, que deve ser acionado para incluir esses dados no cálculo do programa.

Cada grupamento possui um sinalizador na cor verde indicando que a operação sobre o mesmo está finalizada. Quando todos os sinalizadores estiverem verdes, as operações na aba FÓTONS estará encerrada. A Figura A5 mostra a aba FÓTONS

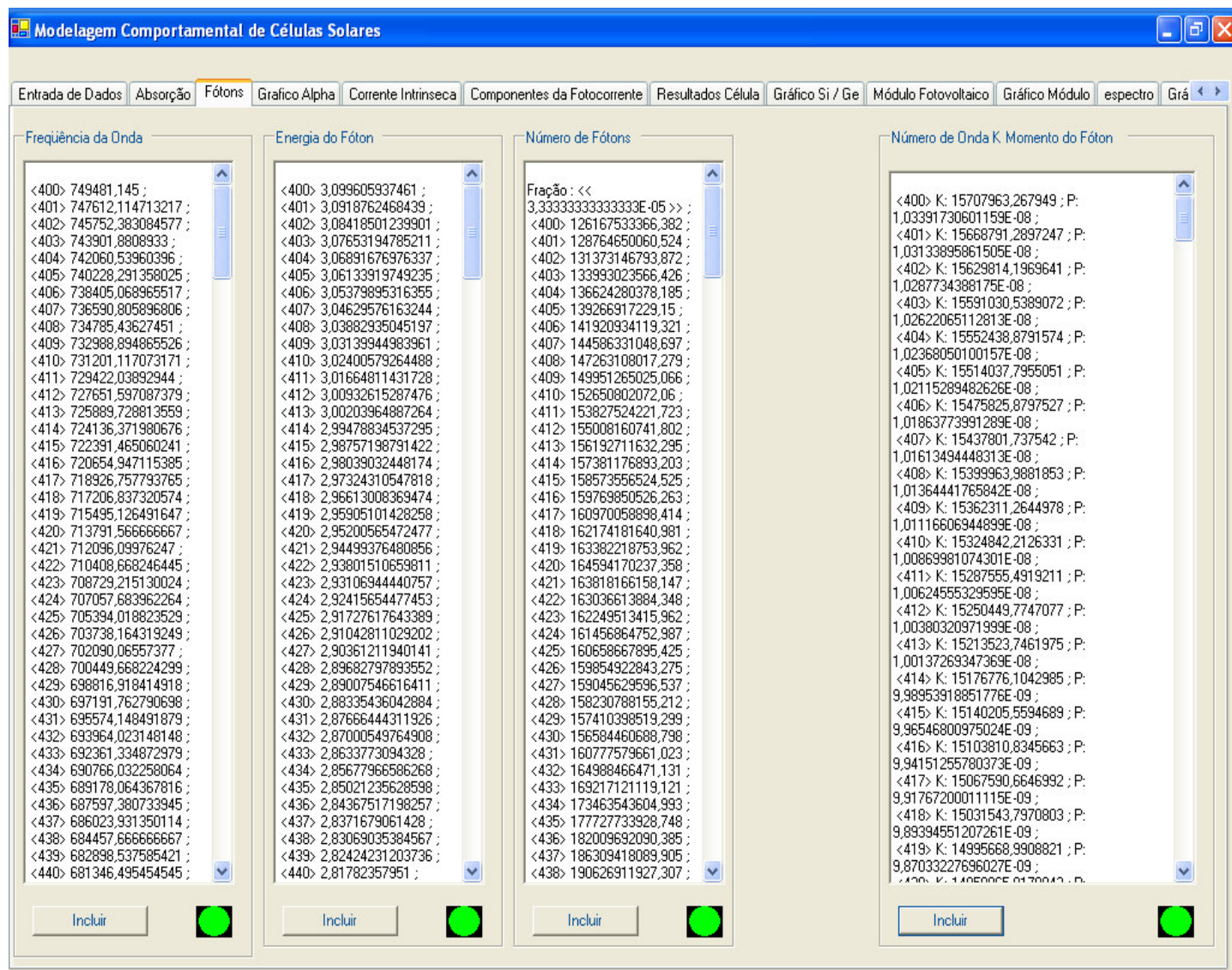


Figura A5: Aba fótons ao final de seu processamento

Posteriormente o usuário deve clicar na aba **ABSORÇÃO**, onde serão calculados os itens referentes à absorção dos fótons pela célula fotovoltaica.

A aba **ABSORÇÃO** é formada por três grupamentos denominados coeficiente de extinção, constante de absorção e intensidade da luz na profundidade X. Cada grupamento possui um botão denominado **INCLUIR** onde serão incluídos os cálculos referentes a cada grupamento mencionado e que fazem parte dos cálculos para o obter comportamento das células fotovoltaicas baseada em suas propriedades físicas e no cenário de atuação.

Cada grupamento também possui um sinalizador na cor verde que indica que a operação foi concluída, e quando todos os sinalizadores estão ativos, indica que as operações na aba **ABSORÇÃO** foram finalizadas. A Figura A6 mostra a aba **ABSORÇÃO**.

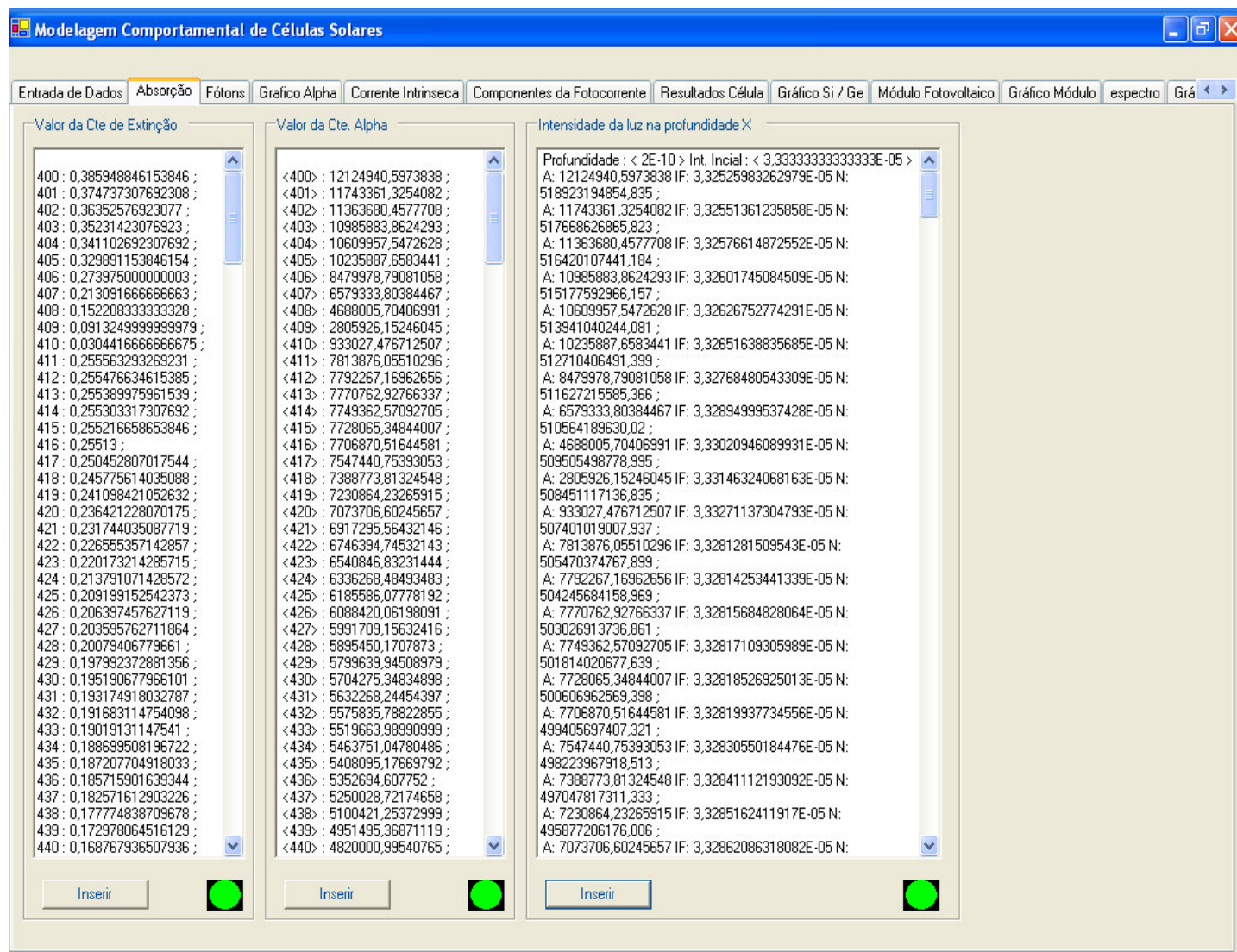


Figura A6: Aba absorção ao final de seu processamento

Posteriormente o usuário irá clicar na aba GRÁFICO ALPHA, onde serão apresentados os gráficos referentes ao coeficiente de extinção e a constante de absorção. A Figura A7 apresenta a aba GRÁFICO ALPHA

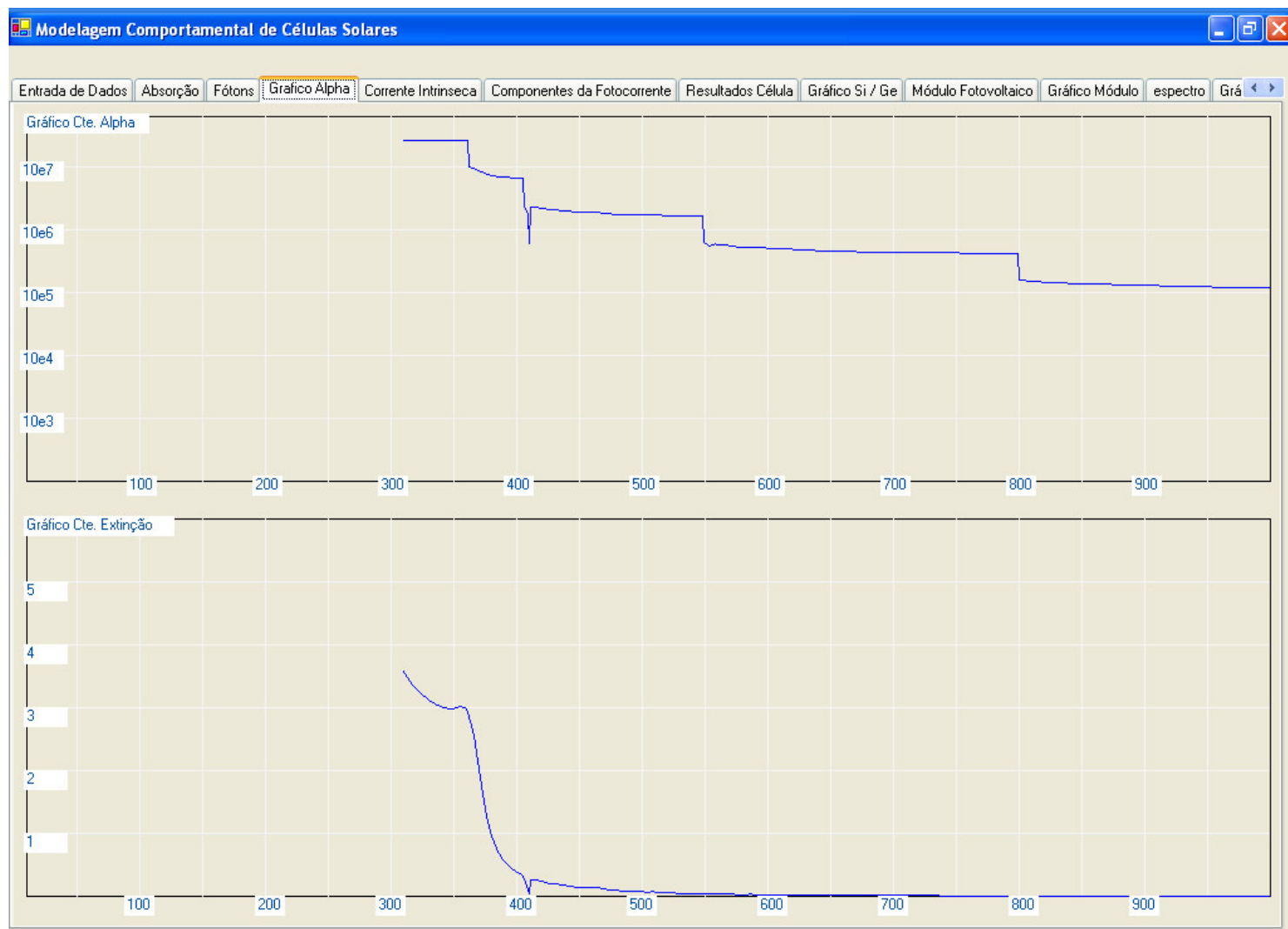


Figura A7: Gráfico da constante de absorção e do coeficiente de extinção da aba gráfico alpha

Posteriormente o usuário irá clicar na aba ESPECTRO, onde será apresentado a forma que cada comprimento de onda contribui para a formação espectro total da luz solar de acordo com a norma da ABNT NBR 10899 apresentada no anexo I deste trabalho. A Figura A8 apresenta esse gráfico.

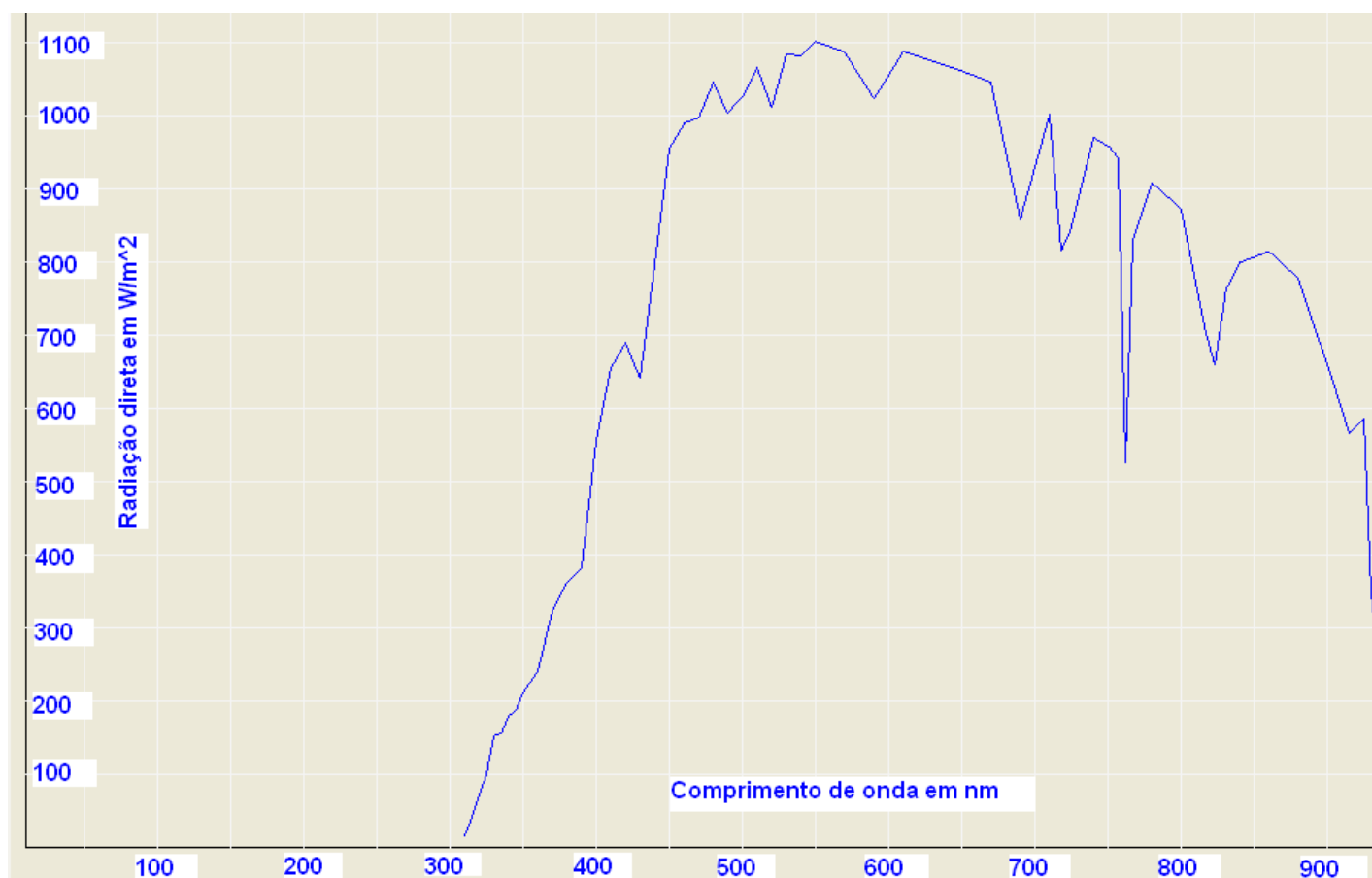


Figura A8: Espectro da luz solar da aba espectro

Posteriormente o usuário irá clicar na aba CORRENTE INTRÍNSECA para realizar os cálculos referentes a esse componente do comportamento da célula fotovoltaica.

Essa aba é formada por diversos grupamentos, o primeiro deles é o grupamento do cálculo dos portadores, que traz a informação do número de portadores majoritários e minoritários nos semicondutores tipo N e tipo P ao se clicar nos botões CALCULAR, além de trazer informações sobre a constante de difusão dos elétrons e lacunas, tempo médio de vida dos elétrons e lacunas e comprimento médio percorrido antes da recombinação dos elétrons e lacunas. A Figura A9 apresenta esse grupamento.

Calculo dos Portadores

Semicondutor tipo N

Portador N	5000000000000	Cte. Difusão de Lacunas	12
Portador P	0,000100901445	Tempo de V. da Lacunas	1E-06
		Comprimento Médio	0,003464101615

Calcular

Semicondutor Tipo P

Portador N	0,005045072259	Cte. Difusão de Elétrons	39
Portador P	10000000000000	Tempo de V. da Elétrons	1e-6
		Comprimento Médio	0,006244997998

Calcular

Figura A9: Grupamento do cálculo dos portadores dos semicondutores

Nessa mesma aba, quatro grupamentos dizem respeito respectivamente à barreira potencial da junção pn, tamanho da RDD N, tamanho da RDD P e corrente reversa de saturação, com o cálculo dos valores desses grupamentos, a parte referente à corrente intrínseca do semiconductor está completa. Conjuntamente com o dado calculado é apresentado o valor da temperatura em Kelvin, estando esse valor entre < >, no caso da Figura A10, o valor da temperatura é 298,15 K, o que é equivalente a 25 °C

Cada um desses grupamentos possui um botão CALCULAR. A Figura A10 apresenta esses grupamentos.

Grupamento	Unidade	Resultado
Barreira Potencial da Junção pn	em Volts	<298,15> : 0,00337278482426979
Tamanho da RDD N	em nm	<298,15> : 0,00193933695776311
Tamanho da RDD P	em nm	<298,15> : 0,0969668478881554
Corrente Reversa de Saturação	em A	Io: <298,15> : 7,73639026640021E-11

Figura A10: Grupamentos referentes a barreira potencial, comprimento da RDD do lado N e P e a corrente reversa de saturação

O próximo grupamento diz respeito ao cálculo da velocidade de recombinação superficial, e esse grupamento está subdividido em diversos outros grupamentos menores denominados área da seção de captura, energia cinética média, velocidade térmica tipo P, velocidade térmica tipo N, velocidade de recombinação superficial tipo P e velocidade de recombinação superficial tipo N.

Cada um desses grupamentos possui um botão CALCULAR para realizar os referidos cálculos do grupamento. Assim como nos grupamentos apresentados da Figura A10, alguns desses grupamentos trazem a temperatura em Kelvin entre os símbolos < > conjuntamente com o valor calculado no grupamento. A Figura A11 apresenta os grupamentos citados.

Cálculo da Velocidade de Recombinação Superficial

Área da seção de captura

Calcular

Área de Captura N: 14999,9998774779

Área de Captura P: 14999,9999623009

Energia Cinética

Calcular

<298,15> : 4,116431827E-21

Velocidade Térmica Tipo P

Calcular

<298,15> VTP: 105630,24914147

Velocidade Térmica Tipo N

Calcular

<298,15> VTN: 87516,4736177221

Velocidade de Recombinação Superficial P

Calcular

<298,15> : 4,43647045279167E+28

Velocidade de Recombinação Superficial N

Calcular

<298,15> : 1,31274709354313E+28

Figura A11: Grupamento referente ao cálculo da velocidade de recombinação superficial

Posteriormente o usuário irá clicar na aba COMPONENTES DA FOTOCORRENTE, onde será calculado a fotocorrente total da célula fotovoltaica.

Inicialmente existem seis componentes que são utilizadas para obter os dados já calculados no programa e inserir na fórmula de calcula da fotocorrente. Os valores apresentados nesse grupamento são referentes a cálculos internos do programa. Cada grupamento possui um sinalizador verde indicando que a operação do grupamento foi bem sucedida. Quando os seis sinalizadores desses componentes estiverem ativos, indica que o valor da fotocorrente já pode ser obtido. A Figura A12 apresenta os grupamentos dos componentes da fotocorrente.

Componente Beta P

BetaP= 52,2487444750854 ;
 BetaP= 50,4823962269493 ;
 BetaP= 48,7326886311579 ;
 BetaP= 46,9994414357944 ;
 BetaP= 45,2824767116893 ;
 BetaP= 43,5936811038759 ;
 BetaP= 36,0403923728493 ;
 BetaP= 27,9045607264649 ;
 BetaP= 19,8418303085213 ;
 BetaP= 11,8514630219739 ;
 BetaP= 3,92585752427191 ;
 BetaP= 32,7984335011555 ;
 BetaP= 32,6286759210402 ;
 BetaP= 32,4601740944201 ;
 BetaP= 32,2929157996721 ;
 BetaP= 32,1268889628655 ;
 BetaP= 31,9629659729044 ;

Componente Gama P

GamaP= 1764170212,88103 ;
 GamaP= 1654878421,62912 ;
 GamaP= 1549598801,55586 ;
 GamaP= 1448275729,86542 ;
 GamaP= 1350854388,85663 ;
 GamaP= 1257280752,85089 ;
 GamaP= 862920482,511167 ;
 GamaP= 519451598,628957 ;
 GamaP= 263728768,776704 ;
 GamaP= 94478657,8767383 ;
 GamaP= 10446482,2676061 ;
 GamaP= 732679907,054137 ;
 GamaP= 28633130,71408 ;
 GamaP= 724617076,73537 ;
 GamaP= 720631442,068222 ;
 GamaP= 716675927,357121 ;
 GamaP= 712750236,88714 ;

Componente Lambda P

Lambda: -42000,0572505304 ;
 Lambda: -40678,2278781767 ;
 Lambda: -39362,974771357 ;
 Lambda: -38054,248975241 ;
 Lambda: -36752,0020196999 ;
 Lambda: -35456,1859133222 ;
 Lambda: -29373,5391692646 ;
 Lambda: -22789,5118001126 ;
 Lambda: -16237,7590749274 ;
 Lambda: -9718,04426037934 ;
 Lambda: -3230,13293273152 ;
 Lambda: -27066,0916066522 ;
 Lambda: -26991,2362315721 ;
 Lambda: -26916,7433522551 ;
 Lambda: -26842,6103419203 ;
 Lambda: -26768,8345991052 ;
 Lambda: -26695,4135473613 ;

Componente Beta N

BetaN= 94,192763641768 ;
 BetaN= 91,0084340522777 ;
 BetaN= 87,8541038254303 ;
 BetaN= 84,7294480074618 ;
 BetaN= 81,6341458319999 ;
 BetaN= 78,589626253125 ;
 BetaN= 64,9727413440747 ;
 BetaN= 50,305662259284 ;
 BetaN= 35,7703682882144 ;
 BetaN= 21,3655288074961 ;
 BetaN= 7,07744030196424 ;
 BetaN= 59,128216871656 ;
 BetaN= 58,8221820419038 ;
 BetaN= 58,5184110539598 ;
 BetaN= 58,2168818749795 ;
 BetaN= 57,9175727383748 ;
 BetaN= 57,6220563656087 ;

Componente Gama N

GamaN= 5733553194,11334 ;
 GamaN= 5378354872,54464 ;
 GamaN= 5036196107,30655 ;
 GamaN= 4706896124,3126 ;
 GamaN= 4390276766,03405 ;
 GamaN= 4086162449,01538 ;
 GamaN= 2804491570,41129 ;
 GamaN= 1688217697,79411 ;
 GamaN= 857118500,774288 ;
 GamaN= 307055640,349399 ;
 GamaN= 33951069,6197198 ;
 GamaN= 2381209700,17594 ;
 GamaN= 2368057677,07076 ;
 GamaN= 2355005501,63995 ;
 GamaN= 2342052188,97172 ;
 GamaN= 2329196766,16065 ;
 GamaN= 2316438272,1332 ;

Componente Lambda N

Lambda: -75719,2297613613 ;
 Lambda: -73336,2679716435 ;
 Lambda: -70965,1617132176 ;
 Lambda: -68605,8227315083 ;
 Lambda: -66258,1636457483 ;
 Lambda: -63922,0979381896 ;
 Lambda: -52956,4505750729 ;
 Lambda: -41086,9264358049 ;
 Lambda: -29275,5862383969 ;
 Lambda: -17522,0032057692 ;
 Lambda: -5825,75472452032 ;
 Lambda: -48796,6403238512 ;
 Lambda: -48661,6928773034 ;
 Lambda: -48527,3989292863 ;
 Lambda: -48393,7537443029 ;
 Lambda: -48260,7526325002 ;
 Lambda: -48128,3909491197 ;

Figura A12: Grupamento de componentes da fotocorrente

Uma vez calculado todos os componentes que influenciam a fotocorrente, pode-se calcular a fotocorrente gerada pela célula e a tensão em circuito aberto apresentado na Figura A13.

Fotocorrente Total da Célula

Calcular Fotocorrente: 2,7011310285248

Valor máximo de tensão

Calcular Tensão V_i : 0,656588667171173

VOC: 0,623790290886255

Figura A13: Fotocorrente e tensão VOC

Posteriormente o usuário irá calcular a curva característica da célula fotovoltaica e o ponto de potência máxima através do grupamento característica I x V da célula solar e potência da célula. Nesse grupamento existe um botão CALCULAR e os valores característicos da célula serão obtidos. Também nesse grupamento existem dois sinalizadores verdes que serão ativos indicando que os cálculos foram realizados com sucesso. A Figura A14 mostra esse grupamento.

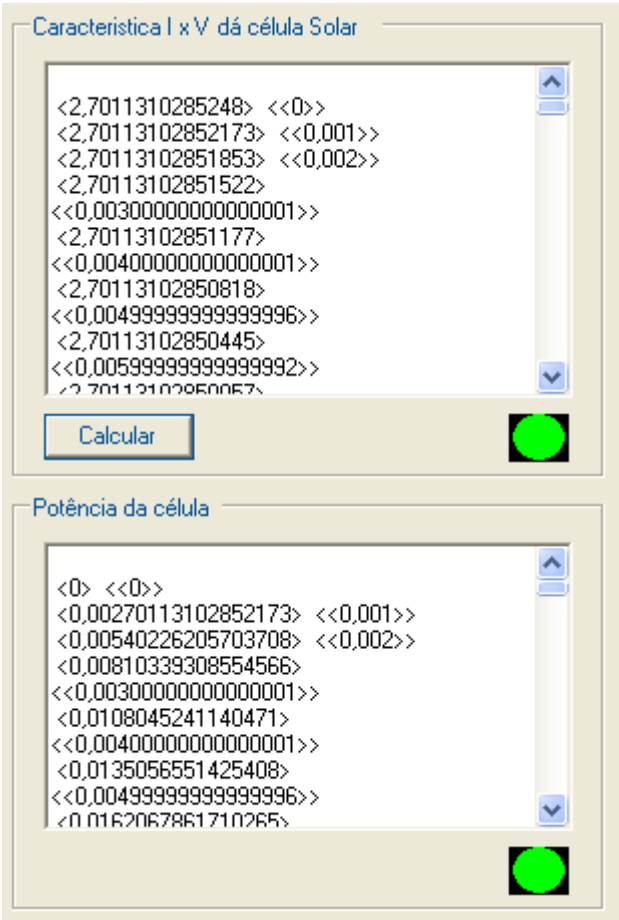


Figura A14: Grupamento para o cálculo da curva característica e da potência da célula solar

Posteriormente o usuário irá clicar na aba RESULTADOS CÉLULA, onde são apresentados três grupamentos. O primeiro grupamento é referente aos dados iniciais utilizados para os cálculos do comportamento da célula fotovoltaica. A Figura A15 apresenta esse grupamento.

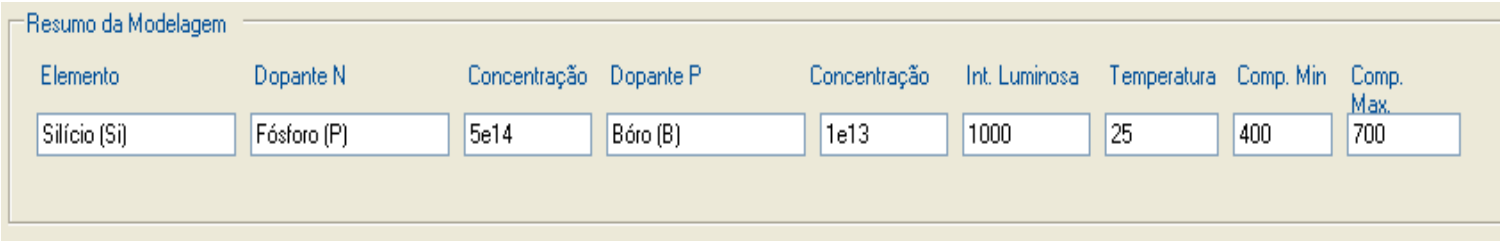
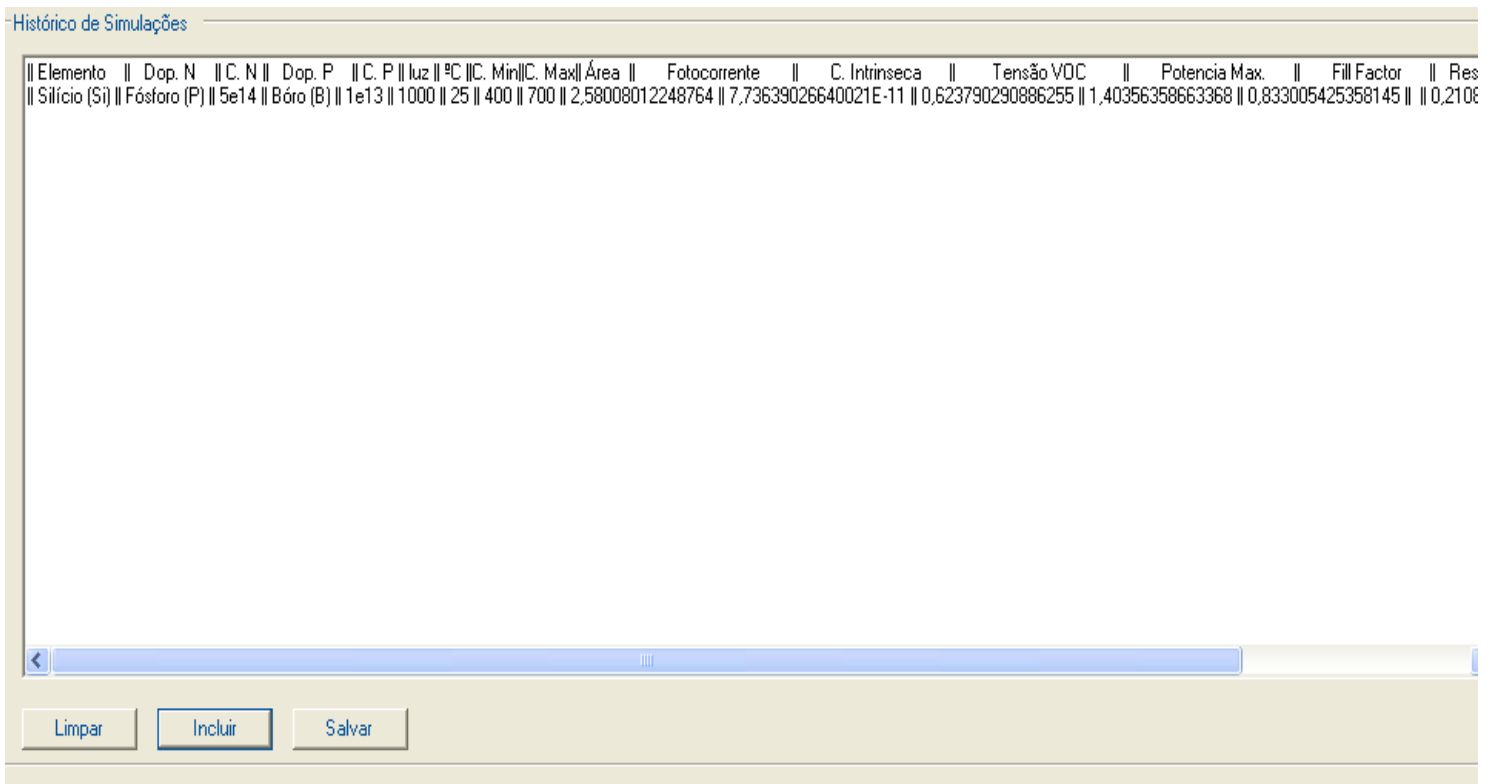


Figura A15: Grupamento com os dados iniciais da análise

O segundo grupamento é referente aos resultados obtidos pelos cálculos realizados pelo programa sobre o comportamento da célula fotovoltaica. Nesse grupamento existe um botão denominado OBTER que é utilizado para obter diversos dados da célula fotovoltaica. A Figura A16 apresenta esse grupamento.

O último grupamento dessa aba é referente ao histórico de análises realizadas, que permite ao usuário ter uma visão geral e comparativa de diversas análises realizadas. Sendo possível também salvar os resultados dessas análises. Esse grupamento é formado por três botões. Um LIMPAR para retirar análise anteriormente realizadas. Um botão INCLUIR para incluir a análise atual no histórico de análises e um botão SALVAR que é utilizado para salvar um conjunto de análises realizadas. A Figura A17 apresenta esse grupamento.



Posteriormente o usuário irá clicar na aba GRÁFICO SI/GE ou GRÁFICO GAAS de acordo com o semiconductor base utilizado para confecção da célula fotovoltaica. Nesse grupamento são apresentados o gráfico referente as características de tensão e corrente da célula fotovoltaica e da potência em função da tensão. A Figura A18 apresenta esse gráfico

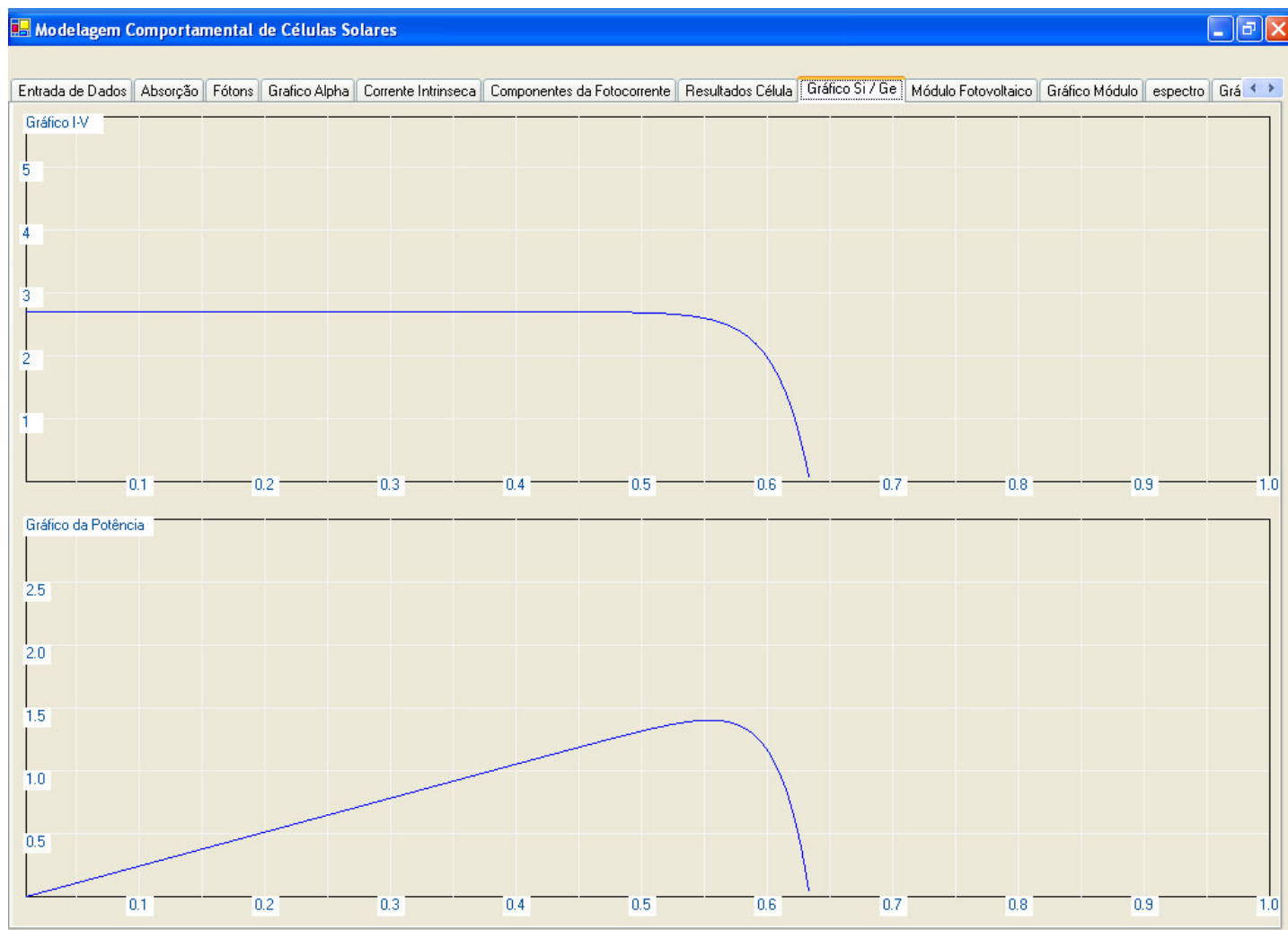


Figura A18: Gráfico Si/Ge

Posteriormente o usuário irá clicar na aba Módulo Fotovoltaico que contém dois grupamentos. Um referente aos parâmetros de configuração do módulo fotovoltaico e outro referente aos resultados obtidos pela simulação do desempenho de um painel fotovoltaico confeccionado com as células estudadas e com os parâmetros pré-estabelecidos. A Figura A19 apresenta esses grupamentos.

Dados de Configuração do Painel			
Número de células em Série	36	Horas de Insolação Diária	5
Número de Conexões em Paralelo	1	Tipo de Material de Conexão	Alumínio (Al)
Comprimento do Condutor em m	0,01	Espessura do Condutor em mm ²	1,5
			Calcular

Resultados do Painel			
Tensão M	19,5661802466265	Potência M	50,4823127273313
Corrente M	2,58008012248764	Corrente Ah/Dia	12,9004006124382

Figura A19: Cálculo do funcionamento do módulo fotovoltaico

CÉLULA FOTOVOLTAICA Nº 8032

A Célula Fotovoltaica de Referência para obtenção da radiação nº 8032 foi utilizada para se determinar a radiação sobre o painel solar na qual foi realizado os testes de aferição do Programa de Modelagem Computacional de Células Fotovoltaicas

Irradiância (W/m^2) versus Corrente (mA)

W/m^2	mA
100	1,76
200	2,22
300	2,53
400	2,82
500	2,89
600	2,95
700	2,99
800	3,01
900	3,04
1000	3,10

- Temperatura da célula durante a medição: aproximadamente 35°C a 36°C
- A Figura apresenta o esquema de ligação da célula fotovoltaica ao multímetro Digital HP 937^A utilizando um resistor em série de 1K Ω

