

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Alexandre Alberto Cardoso Rössmann

**Desenvolvimento de um Protótipo
para Medição do Índice Ultravioleta na
Superfície Terrestre**

São Carlos
2012

Alexandre Alberto Cardoso Rössmann

Desenvolvimento de um Protótipo para Medição do Índice Ultravioleta na Superfície Terrestre

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Escola de Engenharia de São Carlos, da
Universidade de São Paulo

Curso de Engenharia Elétrica com ênfase
em Eletrônica

ORIENTADORA: Prof. Dra. Liliane Ventura

São Carlos
2012

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

R837d Rössmann, Alexandre Alberto Cardoso
Desenvolvimento de um Protótipo para Medição do
Índice Ultravioleta na Superfície Terrestre / Alexandre
Alberto Cardoso Rössmann; orientadora Liliane Ventura.
São Carlos, 2012.

Monografia (Graduação em) -- Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2012.

1. Medidor de Índice Ultravioleta. 2. Radiação
Ultravioleta. 3. Sensores UVB. 4. Sensores de Índice
UV. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Alexandre Alberto Cardoso Rossmann

Título: “Desenvolvimento de um Protótipo para Medição do Índice Ultravioleta na Superfície Terrestre”

*Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 22/11/2012,*

com NOTA 9,0 (nove zeros), pela Comissão Julgadora:

Profa. Associada Liliane Ventura Schiabel (Orientador)
SEL/EESC/USP

Prof. Associado Evandro Luís Linhari Rodrigues
SEL/EESC/USP

Prof. Assistente Edson Gesualdo
SEL/EESC/USP

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:
Prof. Associado Homero Schiabel

A Deus e à minha família, pela força e apoio em todas as horas.

Agradecimentos

À Prof. Liliane Ventura, pela orientação, respeito e por ser parte importante da minha formação profissional;

À minha família, pelo apoio e confiança no meu modo de seguir a minha vida;

À minha namorada, Juliana Parada, pelo amor e carinho em todos os momentos, pela leitura e correção de erros de Português deste trabalho;

Aos amigos Marcio Mello, Luis Lopes, Matheus Figueiredo e Rodrigo Chaves, do Laboratório de Instrumentação Oftálmica (LIO - Departamento de Engenharia Elétrica - EESC - USP), pelas ajudas e pela paciência ao longo do trabalho;

Aos amigos Thallys Lima, Dellayne Grillo, Vinícius Campos e Fausto Rodrigues pela amizade em todos os momentos;

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica (EESC - USP), em especial à Jussara Zoia, por todas as dúvidas sanadas e ajudas prestadas;

Aos Professores e técnicos do Departamento de Engenharia Elétrica (EESC - USP) por terem contribuído em todos os aspectos da minha vida acadêmica e na minha formação como Engenheiro Eletricista;

À FAPESP (processo 2011/06079-2) e ao Laboratório de Instrumentação Oftálmica, pelo apoio financeiro deste projeto.

Sumário

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Lista de Símbolos e Abreviaturas p. 21

Resumo p. 23

Abstract p. 25

1 Introdução p. 27

1.1 Objetivos p. 28

1.2 Estrutura do Documento p. 28

2 Estado da Arte p. 29

2.1 Radiação Solar e Atmosfera Terrestre p. 29

2.2 Radiação Ultravioleta (UV) p. 31

2.3 Fatores Determinantes da Radiação UV na Terra p. 32

2.3.1 Elevação do Sol ou Ângulo Solar Zenital p. 32

2.3.1.1 Hora do Dia p. 34

2.3.1.2 Estação do Ano p. 34

2.3.1.3 Latitude Geográfica p. 34

2.3.2 Nuvens e Névoa p. 35

2.3.3 Altitude p. 36

2.3.4 Reflexão de Superfície p. 36

2.4 Interação da RUV e o Ozônio p. 36

2.5	Efeitos da Radiação UV nos Seres Humanos	p. 38
	Espectro de Ação do Eritema	p. 38
2.6	Índice UV	p. 39
3	Materiais e Métodos	p. 45
3.1	O Sistema	p. 45
3.2	Metodologia	p. 46
3.2.1	Sensor de Índice Ultravioleta	p. 46
3.2.2	Protótipo da Fonte de Alimentação	p. 49
3.2.3	Protótipo de Teste - PIC24FJ64GB002	p. 52
3.2.4	Protótipo de Teste - Bluetooth	p. 56
3.2.5	Protótipo Final	p. 57
3.2.6	Programação - Protótipo Final	p. 62
3.2.6.1	Programação dos módulos Bluetooth	p. 62
3.2.6.2	Programação do PIC	p. 64
3.2.7	Placas Finais - Módulo 1 e Módulo 2	p. 66
4	Resultados	p. 69
4.1	Testes com o Protótipo	p. 69
4.1.1	Testes com o Protótipo da Fonte de Alimentação	p. 69
4.1.2	Testes com o Protótipo do Bluetooth	p. 69
4.1.3	Testes com o Protótipo Final	p. 72
4.2	Comparações com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais	p. 73
4.3	Discussão dos Resultados	p. 76
4.4	Conclusão	p. 77
4.5	Trabalhos Futuros	p. 77
	Referências	p. 79
	Apêndices	p. 81

Apêndice A - Esquemático do protótipo da fonte de alimentação	p. 81
Apêndice B - Esquemático do protótipo de teste do PIC24FJ64GB002 .	p. 82
Apêndice C - Esquemático do protótipo de teste do Bluetooth	p. 83
Apêndice D - Esquemático da placa final do módulo 1	p. 84
Apêndice E - Esquemático da placa final do módulo 2	p. 85
Apêndice F - Código fonte do protótipo final	p. 86
Apêndice G - Dados obtidos pelo site do INPE	p. 90

Lista de Figuras

1	O espectro eletromagnético em relação à frequência em Hz [Alterada de http://www.fisica.ufs.br/egsantana/cuantica/negro/espectro/espectro.htm em 15/10/2012].	p. 30
2	Comparação entre radiação solar e corpo negro [2].	p. 30
3	Delimitações da faixa do espectro eletromagnético no qual se encontra a radiação ultravioleta [Alterada de: http://www.akarilampadas.com.br/informacoes/desinfeccao-ultravioleta-uv.php].	p. 31
4	Fatores que afetam o nível de radiação ultravioleta que atinge a superfície terrestre [Alterada de: WORLD HEALTH ORGANIZATION, <i>Global Solar UV-Index: A Pratical Guide</i>].	p. 33
5	Geometria para medidas de ultravioleta solar[10].	p. 34
6	Nível de concentração do buraco na camada de ozônio é menor que a média global [Alterada de: http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/dobson.html em 29/09/2012].	p. 38
7	Referência do espectro de ação do eritema adotados pela CIE e IEC. . .	p. 39
8	Espectro de ação do Eritema simulado.	p. 41
9	Aplicação da ponderação do eritema [Alterada de: KIEDRON, P. <i>et al.</i> , <i>Instantaneous UV Index and Daily UV Dose Calculations</i>].	p. 41
10	Curva típica de variação do índice UV ao longo do dia [Alterada de: WORLD HEALTH ORGANIZATION, <i>Global Solar UV-Index: A Pratical Guide</i>].	p. 42
11	Classificação do IUV por cores [Retirada de: http://satelite.cptec.inpe.br/uv/ em 07/11/2012].	p. 43
12	Tempo para queimar a pele em minutos de acordo com o tipo de pele [Alterada de: VANICEK, K. <i>et al.</i> , <i>UV-Index for the Public</i>].	p. 44

13	Curso anual do IUV para diferentes latitudes ao meio-dia, em dias claros e ao nível do mar. Curso diário de IUV para diferentes latitudes em Junho e em dias claros [Alterada de: VANICEK, K. <i>et al.</i> , <i>UV-Index for the Public</i>].	p. 44
14	Diagrama de blocos ilustrativo do protótipo para medição do índice ultravioleta na superfície terrestre desenvolvido no LIO.	p. 46
15	Foto do sensor de IUV [Folha de dados do fabricante: http://www.sglux.com/uploads/tx_ttproducts/datasheet/UV-Sensor_UV-Cosine.pdf].	p. 47
16	Curva de ação eritêmica da CIE comparada ao do sensor de IUV [Folha de dados do fabricante: http://www.sglux.com/uploads/tx_ttproducts/datasheet/UV-Sensor_UV-Cosine.pdf].	p. 47
17	Ângulo de recepção do sinal, isto é, correção de cosseno do sensor de IUV [Folha de dados do fabricante: http://www.sglux.com/uploads/tx_ttproducts/datasheet/UV-Sensor_UV-Cosine.pdf].	p. 48
18	Circuito proposto pelo fabricante para a medição do IUV [Folha de dados do fabricante: http://www.sglux.com/uploads/tx_ttproducts/datasheet/UV-Sensor_UV-Cosine.pdf].	p. 49
19	PCI projetada e montada do protótipo da fonte de alimentação.	p. 50
20	Montagem do protótipo da fonte de alimentação.	p. 50
21	Diagrama de blocos ilustrativo do protótipo da fonte de alimentação.	p. 51
22	Encapsulamento do PIC24FJ64GB002 [Folha de dados do fabricante: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39940d.pdf].	p. 53
23	Comunicações realizadas pelo PIC24FJ64GB002 no módulo 1 e no módulo 2, respectivamente.	p. 54
24	Configuração dos osciladores indicada pelo fabricante [Alterada da folha de dados do fabricante: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39940d.pdf].	p. 55
25	Placa de circuito impresso projetada para o protótipo de testes do PIC.	p. 55
26	PCI com os componentes do protótipo de testes do PIC.	p. 56
27	Diagrama de blocos do funcionamento interno do RN-41 [Folha de dados: http://www.rovingnetworks.com/resources/download/18/RN_41].	p. 56

28	Pinagem do RN-41 [Folha de dados: http://www.rovingnetworks.com/resources/download/18/RN_41].	p. 57
29	Frente e verso da PCI projetada para este protótipo de teste.	p. 58
30	PCI com os componentes do protótipo de testes do Bluetooth.	p. 58
31	Módulo RN-42-SM [Folha de dados: http://www.rovingnetworks.com/resources/download/20/RN_41_SM_RN_42_SM .]	p. 58
32	Diagrama de blocos do funcionamento do protótipo final.	p. 59
33	Montagem do protótipo final.	p. 59
34	Modelo utilizado para simular o sensor.	p. 61
35	Esquemático utilizado para a comunicação USB.	p. 61
36	Funcionamento dos LED's e seu respectivo esquemático.	p. 62
37	Diagrama de blocos representativo do software do PIC.	p. 65
38	Frente e verso do <i>hardware</i> final do módulo 1 com ênfase nos seus periféricos.	p. 66
39	Frente e verso do <i>hardware</i> final do módulo 2 com ênfase nos seus periféricos.	p. 67
40	Tensão de 12 V no protótipo da fonte de alimentação.	p. 70
41	Tensão de 5 V no protótipo da fonte de alimentação.	p. 70
42	Tensão de 3,3 V no protótipo da fonte de alimentação.	p. 71
43	Comunicação entre os rádios Bluetooth.	p. 71
44	Comunicação USB entre o PIC e o PC.	p. 72
45	Conexão entre os módulos Bluetooth.	p. 73
46	Comparação das medidas feitas com o CPTEC.	p. 75
47	Classificação das medidas.	p. 75
48	Classificação das medidas obtidas no sítio do CPTEC.	p. 76
49	Dados obtidos pelo site do INPE.	p. 92

Lista de Tabelas

1	Limites de duração de exposição à RUV em relação aos limites de exposição [5].	p. 32
2	Latitudes das estações de medidas e valores máximos e mínimos de ângulo solar zenital [18].	p. 33
3	Porcentagem de UVB e UVA recebidos diariamente durante vários períodos de dias claros de verão. [6]	p. 35
4	Valores típicos de radiação UVB ambiente, diário e anual, expressos em unidades de MED [6]	p. 35
5	Variação do valor de 1MED em relação ao tipo de pele, entre outros fatores [3].	p. 38
6	Categorias de exposição da radiação UV. [2][4]	p. 43
7	Variação do valor de 1MED em relação ao tipo de pele, entre outros fatores [3].	p. 43
8	Resultados obtidos para cada valor de tensão do protótipo projetado. .	p. 69
9	Medidas realizadas com o sensor de índice UV. Medidas foram comparadas com o INPE e com os dados do CPTEC para a cidade de São Carlos-SP	p. 74

Lista de Símbolos e Abreviaturas

CIE	Commission Internationale de l'Eclairage
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
GMT	Greenwich Mean Time
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
IEC	International Electrotechnical Commission
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IUV	Índice Ultravioleta
LED	Light-emitting Diode
MED	Minimal Erithemal Dose
OMS	Organização Mundial de Saúde
PCI	Placa de Circuito Impresso
RUV	Radiação Ultravioleta
SMD	Surface Mount Device
UNEP	United Nations Environment Programme
UV	Ultravioleta
UVI	Ultraviolet Index
WHO	World Health Organization
WMO	World Meteorological Organization

Resumo

O índice ultravioleta foi criado em vários locais do mundo para estabelecer padrões únicos de divulgação de intensidade da radiação ultravioleta na superfície terrestre. Neste trabalho foi desenvolvido um protótipo eletrônico para a medição do índice UV na superfície terrestre, mais precisamente na área 1 do campus da USP em São Carlos (SP), Brasil. O sistema consistiu de um sensor para radiação ultravioleta, com sensibilidade espectral na faixa de 200 a 400 nm, com correção de cosseno para o ângulo solar zenital, que integra a irradiância UV ao espectro de ação do eritema, segundo Comissão Internacional de Iluminação, com um erro menor que 3%, fornecendo dados de índice UV numa taxa de 0,115 V por índice UV. Consistiu, também, de dois módulos microcontrolados com comunicação entre eles via Bluetooth, e do segundo com interface para o computador via USB. Medidas foram obtidas com o sistema desenvolvido e os dados foram comparados com os fornecidos pelo *site* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O protótipo desenvolvido será posteriormente conectado a um painel eletrônico, que ficará disponível ao público no Departamento de Engenharia Elétrica da EESC/USP.

Palavras-chave: Medidor de Índice Ultravioleta, Radiação Ultravioleta, Sensores UVB/Índice-UV

Abstract

The ultraviolet index (UVI) was created in several locations around the world to establish unique patterns for dissemination of ultraviolet radiation intensity on earth's surface. We have developed an electronic prototype for the measurement of UV index on Earth surface, more precisely at the USP campus in São Carlos (SP), Brazil. The system consists of an ultraviolet sensor with spectral sensitivity range of 200 to 400 nm and cosine correction for solar zenith angle, which integrates UV irradiance to the erythema action spectrum, according to International Commission on Illumination, with an error less than 3%, providing UV index data at a rate of 0.115 V by UVI. Consist also of two microcontrolled modules with communication via Bluetooth, and the second interfaces computer via USB. A few measurements were obtained with the developed system and the results were compared with the provided by Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) website. The prototype will then be connected to an electronic panel and it will be available to the public at the Departament of Electrical Engineering (EESC/USP).

Keywords: Ultraviolet Index Meter, Ultraviolet Radiation, UVB/UV-Index Sensors

1 *Introdução*

A radiação ultravioleta (RUV) traz muitos efeitos benéficos e, também, maléficos se ultrapassarem os limites considerados seguros. Caso isso aconteça, os seres humanos devem tomar medidas preventivas, particularmente, na pele e nos olhos [3]. Exposições prolongadas à RUV podem causar à saúde humana efeitos agudos e crônicos na pele, nos olhos e no sistema imunológico. A longo prazo, podem causar degenerações nas células, nos tecidos fibrosos e nos vasos sanguíneos levando a um envelhecimento precoce. A radiação UV pode causar, também, reações inflamatórias nos olhos, como as fotoqueratites. [4] [5] [6] [2].

Entretanto, a exposição à RUV não traz apenas efeitos maléficos à saúde humana e dos animais, ela é indispensável à nossa saúde, mas em pequenas quantidades [4] [5] [6] [2]. Apenas 15 minutos de sol da primavera na palma das mãos é suficiente para a produção de vitamina D (vitamina D_3), que é transportada aos órgãos via corrente sanguínea [6]. Suas ações principais envolvem: prevenção de raquitismo, liberação de hormônios, absorção de nutrientes, dentre outros [5].

Os dois problemas de saúde pública principais relacionados à RUV são os cânceres de pele e as cataratas, uma vez que ocorrem no mundo entre 2 a 3 milhões de casos de cânceres de pele do tipo não-melanomas e cerca de 132 mil casos de cânceres de pele do tipo melanoma a cada ano [4]. Enquanto os casos não-melanoma podem ser retirados cirurgicamente e são raramente letais, os melanomas contribuem substancialmente para as taxas de mortalidade. Outro dado alarmante é que entre 12 a 15 milhões de pessoas são cegas devido a cataratas. De acordo com *World Health Organization* (WHO), mais de 20% destes casos podem ser decorrentes da exposição a longo prazo à radiação solar, especialmente na Índia, no Paquistão e em outros países do "cinturão da catarata" (*Cataract Belt*), próximos à linha do Equador. [4].

Outro aspecto importante também é que a radiação solar que atinge o solo é influenciada por fatores astronômicos e geográficos, assim como pelas condições atmosféricas. As atividades humanas alteram o ambiente, afetando a atmosfera, ou poluindo o ar, ou ainda influenciando na espessura da camada de ozônio. A atuação humana introduz muitas

variáveis nas medidas de radiação UV que diferem amplamente no tempo e no espaço. Para simplificar o entendimento dessas variáveis e transmiti-lo ao público leigo foi criado um parâmetro indicador de exposição à radiação UV, que foi chamado de Índice UV e foi adotado por inúmeras instituições internacionais como WHO, já citada, *World Meteorological Organization* (WMO), *United Nations Environment Programme* (UNEP) e *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP) [3] [4] [5].

No presente trabalho pretende-se criar um protótipo para medição do índice ultravioleta na superfície terrestre e monitorar o Índice Ultravioleta na cidade de São Carlos-SP, posicionada na latitude de 21.87° S, longitude de 47.90° W, altitude média de 856 metros, e, a partir daí, comparar com o dados do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e com os dados obtidos pelo satélite do mesmo.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como o objetivo a criação do *hardware* e do *software* para a implementação em um protótipo para medir o índice ultravioleta na superfície terrestre.

1.2 Estrutura do Documento

Este trabalho está organizado conforme segue. No Capítulo 1 é feita uma introdução do trabalho e do objetivo do trabalho. No Capítulo 2 serão abordados os conceitos que envolvem a radiação ultravioleta, a medida de índice UV, como é feita a apresentação ao público, seus focos de pesquisa, dentre outros dados pertinentes ao trabalho. O Capítulo 3 tratará sobre o sistema de medição de índice UV proposto, todos os materiais envolvidos no projeto e sua metodologia. O Capítulo 4 apresenta os testes e as montagens do sistema, as medidas realizadas, as comparações com os padrões disponíveis e a conclusão referente a todo o trabalho e aos resultados obtidos. Posteriormente, apresentar-se-ão as Referências Bibliográficas utilizadas durante a pesquisa desenvolvida neste trabalho, os apêndices com os algoritmos e circuitos desenvolvidos.

2 *Estado da Arte*

Neste capítulo, serão discutidos os principais aspectos teóricos levados em consideração para o embasamento e a elaboração do protótipo de medidas de índice ultravioleta.

2.1 Radiação Solar e Atmosfera Terrestre

No início dos estudos de óptica, havia duas teorias "rivais", a teoria corpuscular da luz proposta por Newton, e a teoria ondulatória defendida por Huygens. A teoria corpuscular foi convincentemente anulada pelo experimento da dupla-fenda de Young em 1801, e pela interpretação de difração da onda introduzida por Fresnel em 1815. Posteriormente, Maxwell, por meio de suas famosas equações publicadas em 1873, deu o embasamento teórico que faltava a tais experimentos [17].

Em 1901, com a hipótese de Planck, a situação mudou. Quatro anos depois, em 1905, Einstein aplicou a teoria quântica de Planck para explicar o Efeito Fotoelétrico. Mais tarde, o Efeito Compton, o Efeito Raman, dentre outros, provaram que a luz deve consistir de pequenos pacotes de energia denominados por Max Planck de quantum, para o caso do calor, e fóton, segundo Einstein, para o caso da luz. Estas ideias revolucionárias deram as bases para a teoria quântica da luz e do átomo [17].

A equação 2.1 demonstrada por Max Planck mostra, dentre outras coisas, que a energia da radiação eletromagnética de um quantum é inversamente proporcional ao comprimento de onda.

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (2.1)$$

No qual, E é a energia de um quantum (em J/m^2), h é a constante de ação de Planck ($6.63 \times 10^{-23} J \cdot s$), c é a velocidade da luz no vácuo ($2,998 \times 10^8$ m/s), e λ é comprimento de onda (em m).

Sabe-se que o comprimento de onda está intimamente ligado à frequência pela relação da Equação 2.2.

$$c = \lambda \cdot f \Leftrightarrow \lambda = \frac{c}{f} \quad (2.2)$$

Dessa maneira, no espectro eletromagnético, visto na Figura 1, quanto maior a frequência, menor o comprimento de onda.

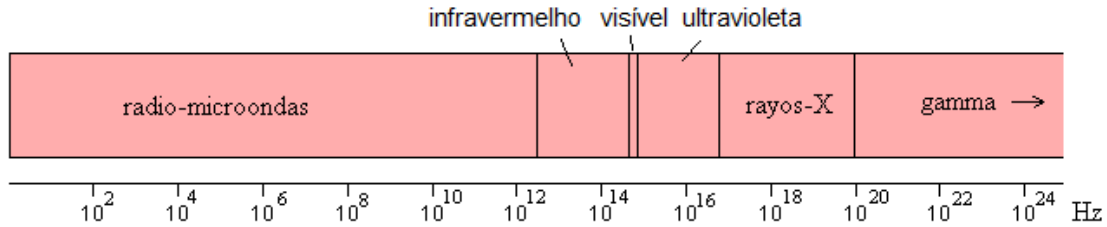


Figura 1: O espectro eletromagnético em relação à frequência em Hz [Alterada de <http://www.fisica.ufs.br/egsantana/cuantica/negro/espectro/espectro.htm> em 15/10/2012].

De acordo com a lei de Planck, podemos aproximar o espectro da radiação solar ao de um corpo negro emitindo energia a uma temperatura de 6000 Kelvin (K), como se pode ver na Figura 2. Pode-se notar que a faixa do visível representa apenas uma pequena parcela em comprimento de onda, no entanto, está no pico de energia fornecida pelo sol [19].

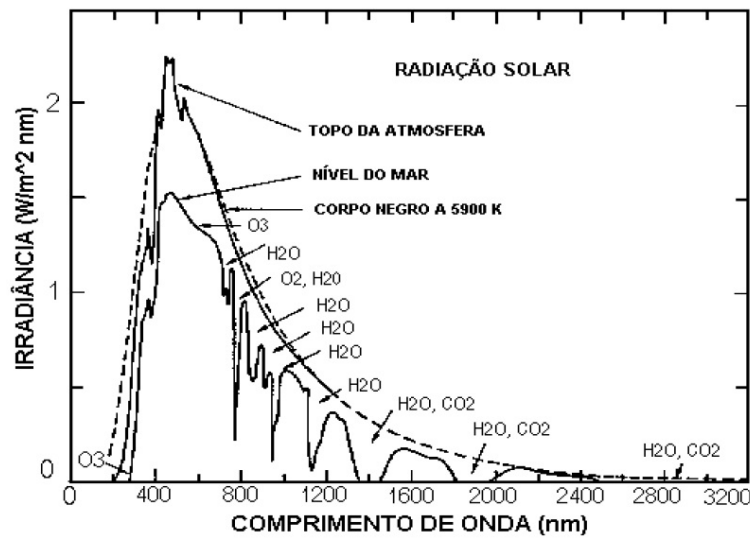


Figura 2: Comparação entre radiação solar e corpo negro [2].

O fluxo de energia na superfície solar, que é de aproximadamente $5,98 \times 10^7 \text{ W/m}^2$, varia de acordo com a lei do inverso do quadrado da distância. Assim, foi determinada uma constante solar (C_S), relativa à quantidade de energia recebida por unidade de área. Esta constante C_S varia de 1.322 W/m^2 até 1.382 W/m^2 , e a maioria dos autores adota o valor de 1.367 W/m^2 [2].

O estudo da radiação solar é importante, porque quase toda a vida na Terra depende, de alguma forma, da energia fornecida pelo Sol [1]. Ele é responsável pelo desenvolvimento e pela manutenção da vida na Terra, aquecendo por meio dos raios infravermelhos, atuando nas correntes de ar e, o mais importante, a luz visível é essencial para a fotossíntese, uma vez que dela as plantas derivam sua energia.

2.2 Radiação Ultravioleta (UV)

A radiação ultravioleta foi descoberta em 1801 por Johann Wilhelm Ritter (1776 - 1810) e constitui aproximadamente 7% da energia emitida pelo Sol [2]. Ela ocupa a porção do espectro eletromagnético com comprimento de onda de 100 a 400 nanômetros [5]. Fotobiologistas definem e subdividem a RUV em três partes, basicamente: UVA, UVB e UVC [3][5][4][6]. Essa divisão é bastante arbitrária e é feita de acordo com a ação que cada faixa de comprimento de onda afeta os seres vivos. Em discussão sobre estes efeitos biológicos, a Comissão Internacional de Iluminação (CIE) dividiu o espectro UV em três bandas, nas quais a faixa espectral que vai de 315 a 380-400 nm é designada como UVA, a faixa que vai de 280 a 315 nm como UVB, e a de 100 a 280 nm como UVC [CIE 1987, 1999]. Existe também a designação chamada UV-Vácuo, que compreende a faixa de 100 nm a 180 nm [5]. Na Figura 3, pode-se ver a divisão adotada pela CIE e a maioria dos órgãos.

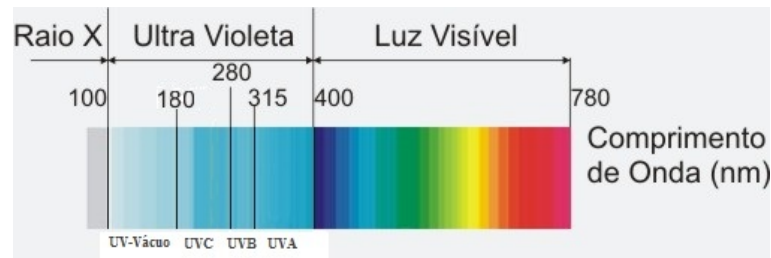


Figura 3: Delimitações da faixa do espectro eletromagnético no qual se encontra a radiação ultravioleta [Alterada de: <http://www.akarilampadas.com.br/informacoes/desinfeccao-ultravioleta-uv.php>].

A radiação UV deve ser quantificada em termos de irradiância (em W/m^2 ou W/cm^2) para exposição contínua, e em termos de exposição radiante ou dose (em J/m^2 ou J/cm^2) para exposição por tempo limitado (ou pulsado), no olho ou na pele [5].

Outro fator importante em relação à exposição à RUV é a sua geometria, pois o olho, por exemplo, é anatomicamente protegido contra a RUV do sol e os limites devem ser aplicados a exposições diretamente perpendiculares às superfícies do corpo, medidos com instrumentos com correção de cosseno [5], tema, este, que será abordado na seção 2.3.

A Tabela 1, fornecida pelo ICNIRP, estabelece os limite de irradiância efetiva que pode ser recebido de acordo com o tempo de exposição ao longo do dia. Nota-se que, quanto menor o tempo, maior a irradiância efetiva que pode ser recebida pela pele. Para uma pessoa que fica exposta por 8 horas ao Sol, ela pode receber uma irradiância efetiva de $1 \text{ mW}/m_2$

Tabela 1: Limites de duração de exposição à RUV em relação aos limites de exposição [5].

Duração da exposição por dia	Irradiância efetiva $E_{eff} \text{ (W/m}^2\text{)}$
8 h	0,001
4 h	0,002
2 h	0,004
1 h	0,008
30 min	0,017
15 min	0,033
10 min	0,05
5 min	0,1
1 min	0,5

2.3 Fatores Determinantes da Radiação UV na Terra

É importante enfatizar que a radiação UV, que atinge a Terra, varia de acordo com múltiplos fatores, dentre eles, astronômicos; geográficos; meteorológicos; geométricos; físicos e químicos. Nesta seção, serão discutidos os principais fatores. Na Figura 4, tem-se uma breve introdução sobre o tema.

2.3.1 Elevação do Sol ou Ângulo Solar Zenital

A elevação do Sol pode ser definido como o ângulo entre o horizonte e a direção para o Sol. O termo Ângulo Solar Zenital (ASZ) é geralmente utilizado no lugar de elevação do Sol, que é o ângulo entre o zênite e a direção ao Sol [3].

Para se fazer medidas de radiação solar na superfície terrestre é necessário que o medidor possua correção de cosseno em relação ao ângulo solar zenital (ASZ), ou ângulo de Zenith [5][10].

A Figura 5 mostra o posicionamento de um detector (medidor) e a variação do ASZ.

A Tabela 2 mostra a latitude das estações de medidas do INPE, de onde foram feitas medidas de UV-B Eritema, assim como, os máximos e mínimos anuais de ASZ. Desta tabela, é interessante notar a variabilidade do ASZ em função da latitude.

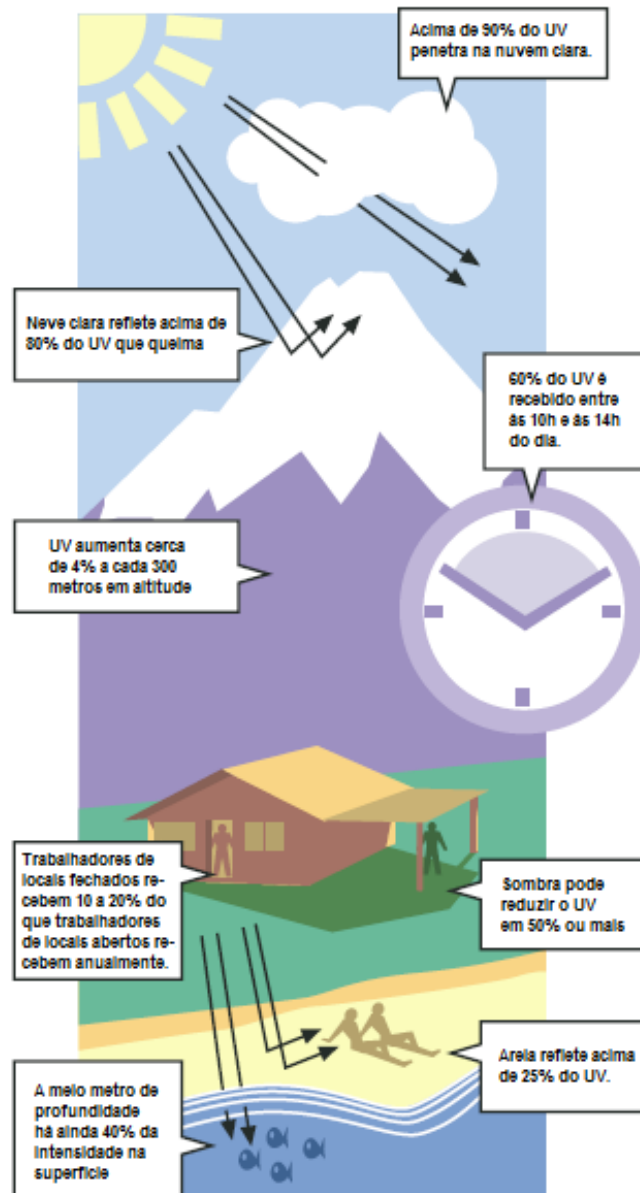


Figura 4: Fatores que afetam o nível de radiação ultravioleta que atinge a superfície terrestre [Alterada de: WORLD HEALTH ORGANIZATION, *Global Solar UV-Index: A Pratical Guide*].

Tabela 2: Latitudes das estações de medidas e valores máximos e mínimos de ângulo solar zenital [18].

Regiões	Latitude	Máximo anual do ângulo solar zenital	Mínimo anual do ângulo solar zenital
Natal	5,84°	0°	30,7°
La Paz	16,54°	3,8°	40,8°
Campo Grande	19,25°	1,7°	42,8°
Ribeirão Preto	21,17°	0,33°	44,7°
Cachoeira Paulista	22,7°	0,38°	46,4°
Blumenau	26,92°	4,3°	50,4°
Porto Alegre	30,47°	8,13°	54,2°
Punta Arenas	53,2°	29,8°	76,7°

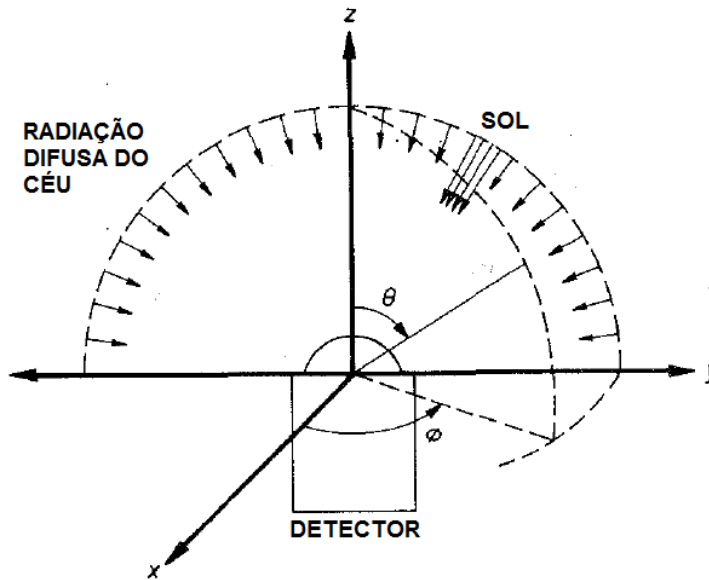


Figura 5: Geometria para medidas de ultravioleta solar[10].

Foi constatado que a radiação UVB tem um caráter mais sazonal, seguindo o ciclo anual do ângulo zenital, i.e., a maior variação imposta ao UVB não é a do ozônio (O_3) e sim a do ângulo solar zenital [18]. Sabendo, agora, que a irradiância UV depende fortemente da elevação do Sol, podemos inserir subsequentemente os subtópicos, hora do dia, estação do ano e latitude geográfica.

2.3.1.1 Hora do Dia

Quanto mais alto o Sol no céu, maior o nível de radiação UV [4]. Cerca de 20-30% da radiação UV total diária é recebida entre 11 e 13 horas no verão e 75% entre 9 e 15 horas [6]. Mesmo que a latitude varie, esses valores têm uma variação mínima, conforme exemplifica a Tabela 3.

2.3.1.2 Estação do Ano

Nas regiões temperadas do globo terrestre, a RUV biologicamente danosa se mostra extremamente dependente da estação do ano. Próxima à linha do Equador, essa dependência é muito menor, conforme mostra a Tabela 3 [3][6].

2.3.1.3 Latitude Geográfica

Quanto mais perto das regiões equatoriais, maior o nível de radiação UV [4]. Para latitudes entre 20° e 60° , é possível estimar, grosseiramente, uma dose mínima eritêmica (*Minimal Erythema Dose* - MED) anual para uma superfície sem sombra e horizontal. O

Tabela 3: Porcentagem de UVB e UVA recebidos diariamente durante vários períodos de dias claros de verão. [6]

Latitude (°N)	UVB[%]	UVB[%]	UVA[%]	UVA[%]
	11 h - 13 h	9 h - 15h	11 h - 13 h	9 h - 15 h
20	30	78	27	73
40	28	75	25	68
60	26	69	21	60

valor de 1 MED pode ser entendido como a quantidade de exposição da pele ao Sol que causa uma leve percepção de vermelhidão após 24 horas [6].

$$MEDAnual = 2 \times 10^4 \times e^{\frac{-|latitude|}{20}} \quad (2.3)$$

Para a cidade de São Carlos-SP obter-se-ia a seguinte MED Anual aproximada:

$$MEDAnual = 2 \times 10^4 \times e^{-21,87/20} \Rightarrow MEDAnual \approx 6700 \quad (2.4)$$

É possível ver, na Tabela 4, alguns valores típicos de MED.

Tabela 4: Valores típicos de radiação UVB ambiente, diário e anual, expressos em unidades de MED [6]

Latitude Geográfica	UVB Diurno (MED)			MED anual
	Inverno	Primavera/Outono	Verão	
20°N, e.g., Havaí	14	20	25	6000
30°N, e.g., Flórida	5	12	15	4000
40°N, e.g., Espanha Central	2	7	12	2500
50°N, e.g., Bélgica	0.4	3	10	1500

2.3.2 Nuvens e Névoa

Os níveis de radiação UV são maiores em dias sem nuvens [3] [4] [6]. A absorção de radiação UV pela nuvem depende, tanto da espessura, quanto do tipo, i.e., nuvens finas e dispersas causam pouco efeito no UV que atinge a superfície [3]. Em alguns casos, nuvens dispersas podem aumentar a refletância e, assim, aumentar o nível de UV comparado a um céu totalmente claro [3][4].

Existe o risco de sobre-exposição ao Sol em dias de mormaço (Sol coberto por nuvens, porém quente e abafado), pois a sensação de calor, causada pelos raios de infravermelho, é amenizada. A cobertura completa de nuvens reduz a RUV terrestre pela metade, enquanto

que, com nuvens pesadas, essa irradiância pode cair para valores menores que 10% e, para condições de nuvens de tempestade, pode-se, virtualmente, anular esta irradiância [6].

Em casos em que há névoa (vapor d'água e aerossóis), a radiação é absorvida e, então, diminuída, i.e., há um decréscimo na irradiância UV [3].

2.3.3 Altitude

Quanto maior a altitude, mais fina é a atmosfera. Karel Vanicek *et al.* (1999) e B. L. Diffey (1991) dizem que a irradiância UV aumenta de 6 a 8% a cada 1000 metros que se sobe. Já a Organização Mundial de Saúde (WHO) diz que há um aumento de 10 a 12% a cada 1000 metros em altitude.

Locais na Terra, abaixo do nível do mar, recebem menos radiação UVB do que em locais ao nível do mar [6].

2.3.4 Reflexão de Superfície

A reflexão da RUV da terra e do mar é, normalmente, menor que 7%. Já as areias formadas de gipsita (areia branca de dunas) refletem cerca de 25%. Alguns autores, como Doda e Green (1980 e 1981), afirmam que a neve clara reflete cerca de 30%, já outros, como McCullough (1970), Blumthaler e Ambach (1985) relataram que excede os 80% [6].

A Organização Mundial da Saúde (WHO) relata que a neve excede 80%, a areia de praia seca reflete 15% e a espuma do mar reflete cerca de 25% [4].

Karel Vanicek *et al.* relatam que superfícies comuns, como grama, solo e água refletem menos que 10%. Superfícies com neve podem refletir acima de 80%. Durante a primavera e com céu limpo, a reflexão da RUV em montanhas pode elevar a irradiância na superfície a valores comparados com o verão, o que pode ser considerado também para as grandes cidades, as quais prédios espelhados refletem a radiação. A areia pode refletir até 25% da radiação UV e pode, por exemplo, aumentar a exposição na praia. Já, em relação à água, há uma penetração de RUV de 95% e até 50% penetra a uma profundidade de 3 metros [3].

2.4 Interação da RUV e o Ozônio

Christian Friedrich Schönbein (1799 - 1868), um químico de dupla nacionalidade (alemã e suíça), durante suas experiências de eletrólise da água na Universidade de Basel, notou um odor diferente. Odor este, semelhante ao de dias de fortes chuvas com trovo-

adas, que fez com que ele percebesse a presença de uma nova substância. Devido a este cheiro, Schönbein "batizou" este produto de Ozônio, do grego *Ozein*, que significa cheiro. Ele descreveu sua descoberta em publicações de 1840 [14].

O Ozônio (O_3) é criado na estratosfera, em altitudes entre 25 e 100km, pela dissociação do oxigênio (O_2) por RUV com comprimentos de onda (λ) inferiores a 242 nm. A absorção de RUV com λ maior que 320 nm converte o O_3 novamente em O_2 e O , como mostram as Equações 2.5 e 2.6. A dissociação do O_3 é o mecanismo responsável por prevenir radiações com λ menores que 290 nm de atingir a superfície terrestre [1][2][6].



Em 1974, divulgou-se que determinados gases utilizados em atividades humanas, dentre eles o clorofluorcarbono (CFCs), poderiam alterar o equilíbrio natural da camada de ozônio e levaria a uma depleção da mesma [15]. Em particular, pode-se citar o caso da Nova Zelândia, onde os níveis de ozônio diminuíram mais de 5% nos últimos 16 anos, dado à sua baixa latitude e relativa proximidade com o buraco na camada de ozônio que se desenvolve anualmente sobre a Antártica.

Como o ozônio é o principal absorvente de radiação UVB, a intensidade deste na superfície depende fortemente da quantidade total de O_3 na atmosfera, i.e., a espessura da camada [3]. Criou-se, assim, a Unidade Dobson (*Dobson Unit* - DU) para medir a concentração de ozônio, que é o número de moléculas de ozônio que seriam necessárias para criar uma camada de puro O_3 de 0.01 milímetros a uma temperatura de 0° Celcius e a uma pressão de 1 Atmosfera. De outra maneira, uma coluna de ar com uma concentração de 1 DU teria cerca de $2,69 \times 10^{16}$ moléculas de O_3 para cada centímetro quadrado de área na base da coluna. Na superfície terrestre, a camada de Ozônio tem cerca de 300 DU, o que equivale a uma camada de 3 mm de espessura [16].

Ao contrário do que se pensa, o ozônio não está situado apenas na estratosfera, mas sim disperso em toda a atmosfera, porém, é encontrado em maior concentração naquela. Os sensores de satélites e outros medidores de ozônio medem a concentração deste para uma coluna inteira de atmosfera, assim, a Unidade Dobson é uma maneira de descrever a quantidade de O_3 que teria na coluna se ela fosse comprimida em uma única camada. O buraco na camada de ozônio na Antártica tem uma concentração média de 100 DU, o que formaria um *layer* de apenas 1 mm de espessura. A Figura 6 exemplifica a situação

[16].

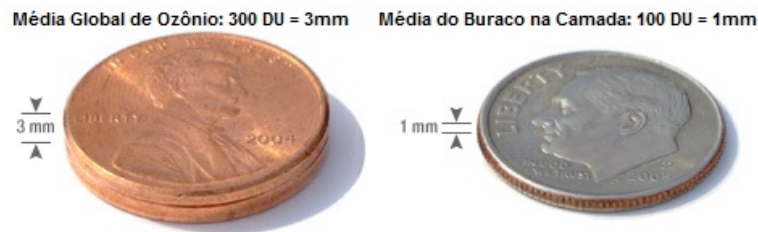


Figura 6: Nível de concentração do buraco na camada de ozônio é menor que a média global [Alterada de: <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/dobson.html> em 29/09/2012].

2.5 Efeitos da Radiação UV nos Seres Humanos

Os efeitos da RUV nos seres humanos podem ser classificados em agudos e crônicos. No primeiro, os sintomas aparecem rapidamente e têm curta duração, enquanto que, no segundo, os sintomas aparecem gradualmente e têm longa duração. Algumas das reações consideradas agudas são: o eritema, o bronzeamento e a produção de vitamina D. Já, as consideradas crônicas são, por exemplo, o fotoenvelhecimento, a hiperplasia epidérmica e o câncer de pele [6].

Espectro de Ação do Eritema Nota-se, na Figura 7, que a radiação UVA (315 a 400 nm) é muito menos eritemicamente ativa do que a radiação UVB (280 a 315 nm). Sabe-se, também, que esta penetra em menor quantidade na atmosfera, dessa maneira, e.g., em um dia de verão, a RUV do tipo A contribui com cerca de 15 a 20% da queimadura do sol sobre a pele [6].

Alguns dos fatores que influenciam o desenvolvimento de eritema são: a cor da pele, do cabelo, do olho e a presença, ou não, de sardas. Existem diversos tipos de tabelas considerando tais parâmetros e suas respectivas reações à radiação solar, como mostra a Tabela 5, proposta por Karel Vanicek *et al.*, abaixo:

Tabela 5: Variação do valor de 1MED em relação ao tipo de pele, entre outros fatores [3].

Tipo de Pele	Bronzeia	Queima	Cor do Cabelo	Cor do Olho	1MED
I	nunca	sempre	ruivo	azul	200 J/m^2
II	às vezes	às vezes	loiro	azul/verde	250 J/m^2
III	sempre	raramente	castanho	cinza/castanho	350 J/m^2
IV	sempre	nunca	preto	castanho	450 J/m^2

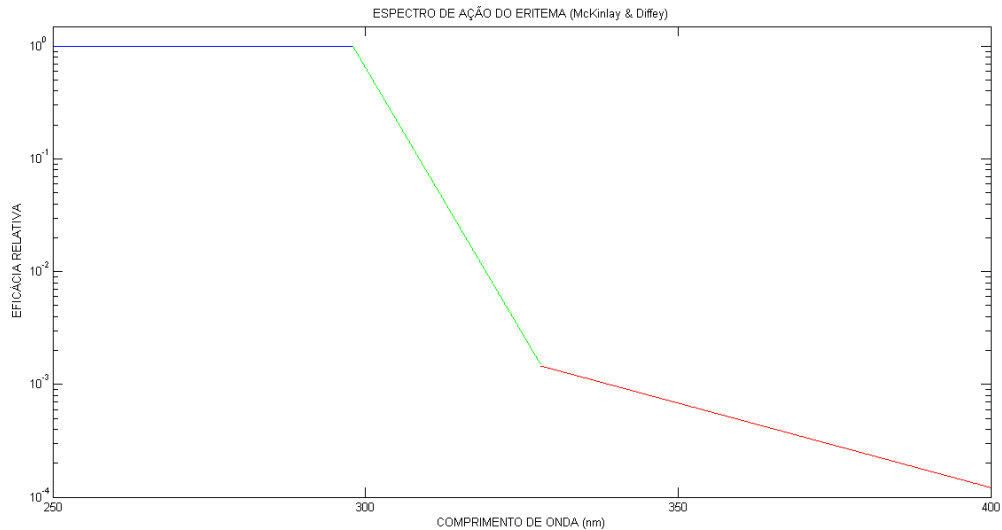


Figura 7: Referência do espectro de ação do eritema adotados pela CIE e IEC.

2.6 Índice UV

O índice UV (IUV) foi criado para representar com um único número a radiação UV (RUV) que é potencialmente danosa à pele [13]. Segundo os autores Karel Vanicek *et al.*, o índice UV foi formulado em vários países e utilizado em programas para informar a população sobre a RUV. A definição foi, posteriormente, padronizada e publicada em conjunto pelos órgãos: *World Health Organization* (WHO), *World Meteorological Organization* (WMO), *United Nations Environment Programme* (UNEP) e pelo *International Commission on Non-Ionizing Radiation* (ICNIRP) [3].

Acredita-se que o aumento da incidência de cânceres de pele nas pessoas de pele clara em todo o mundo esteja associado à exposição excessiva da RUV, tanto natural, como o sol, quanto artificial, como as câmaras de sol [4]. Sendo assim, o IUV é um meio extremamente importante para a conscientização da população [3] quanto à necessidade do uso de medidas de proteção, medidas estas que diminuiriam a exposição das pessoas à radiação, evitando seus efeitos danosos e, por consequência, haveria um decréscimo significativo dos custos com saúde.

No estado da arte atual, existem alguns dispositivos que medem a irradiância UV e, por conseguinte, o índice UV. O espectrofotômetro Brewer, o Biômetro [18] e o radiômetro UV [11], são exemplos importantes. No entanto, estes dispositivos são extremamente caros e inacessíveis à população em geral. Tais aparelhos são destinados à pesquisa científica e, na maioria dos casos, não fornecem dados imediatos aos leigos para a prevenção e o conhecimento em relação aos danos causados pela RUV [11].

Além do mais, o IUV é um meio educacional de grande importância, que deveria ser utilizado como um componente integral para informar a população sobre os riscos à saúde e as maneiras de se proteger contra a RUV. Dever-se-ia veicular dados alarmantes como, queimaduras, câncer de pele, envelhecimento precoce da pele e efeitos no olho e no sistema imunológico, principalmente para os grupos de risco, como os turistas e as crianças. Deve-se enfatizar, também, que a proteção em dias normais ao longo da vida é tão importante quanto nas férias [4].

O índice UV é definido pela Equação 2.7 [11] e é uma padronização da irradiância eritêmica, definida por uma escala numérica, em que 1 IUV equivale a $25 \text{ mW}/\text{m}^2$.

$$IUV = \frac{1}{25 \frac{\text{mW}}{\text{m}^2}} \int_{286.5 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} I(\lambda) \cdot w(\lambda) d\lambda \quad (2.7)$$

De tal maneira que, $I(\lambda)$ é a irradiância dada em $\text{mW}/\text{m}^2/\text{nm}$ e $w(\lambda)$ é a função de ponderação, que representa a resposta da pele humana para a radiação UV, proposta por McKinlay & Diffey [8], dada pela Equação 2.8:

$$w(\lambda) = \begin{cases} 1 & 250 < \lambda \leq 298 \\ 10^{0.094 \cdot (298 - \lambda)} & 298 < \lambda \leq 328 \\ 10^{0.015 \cdot (139 - \lambda)} & 328 < \lambda \leq 400 \\ 0 & 400 < \lambda \end{cases} \quad (2.8)$$

É interessante notar que, devido ao coeficiente $1/25$, o índice UV não possui unidade. Outra questão bem interessante é que a definição proposta por McKinlay-Diffey apresenta uma descontinuidade em 328 nm, que, apesar de pequena, pode ter sido um descuido do autor [11].

A curva de ponderação proposta por McKinlay & Diffey, já vista na subseção 2.5 é também chamada de Curva (ou Espectro) de Ação do Eritema [2][5][6][8][18]. Os dados da Equação 2.8 foram inseridos na plataforma MATLAB para simulação (Figura 8).

Na Figura 9, é possível ver três curvas: a curva em vermelho representa as medidas feitas pelo espectrofotômetro Brewer, a segunda, em azul, mostra a irradiância obtida por meio da ponderação com a terceira curva, em rosa [11].

O espectro de ação do eritema nos mostra que, para radiações com comprimento de onda entre 250 nm e 298 nm, o efeito da radiação UV é máximo, i.e., toda ela está afetando biologicamente a pele humana. Pode-se dizer que o peso é maior, porque o efeito biológico causado ao ser vivo é maior [2]. Existem outras curvas de ponderação, e as mais

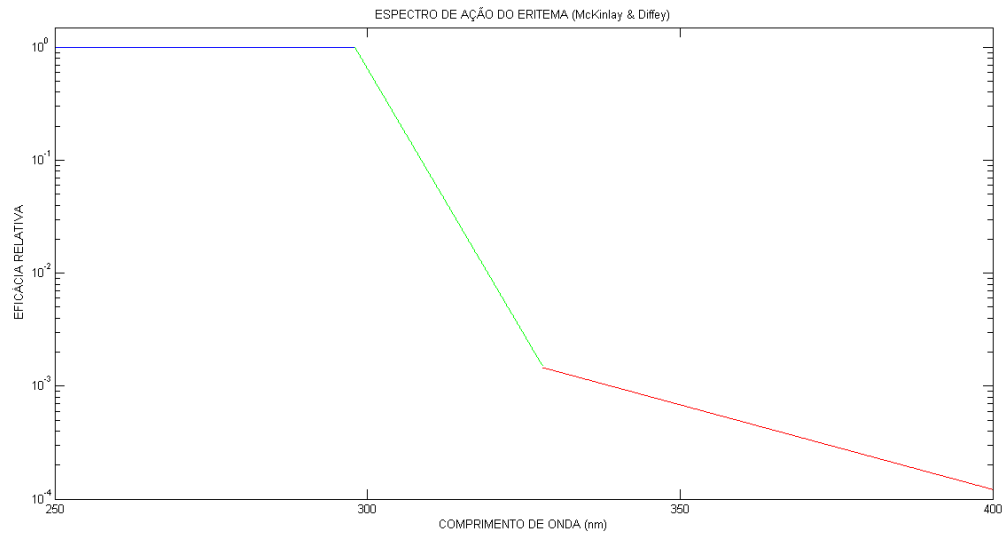


Figura 8: Espectro de ação do Eritema simulado.

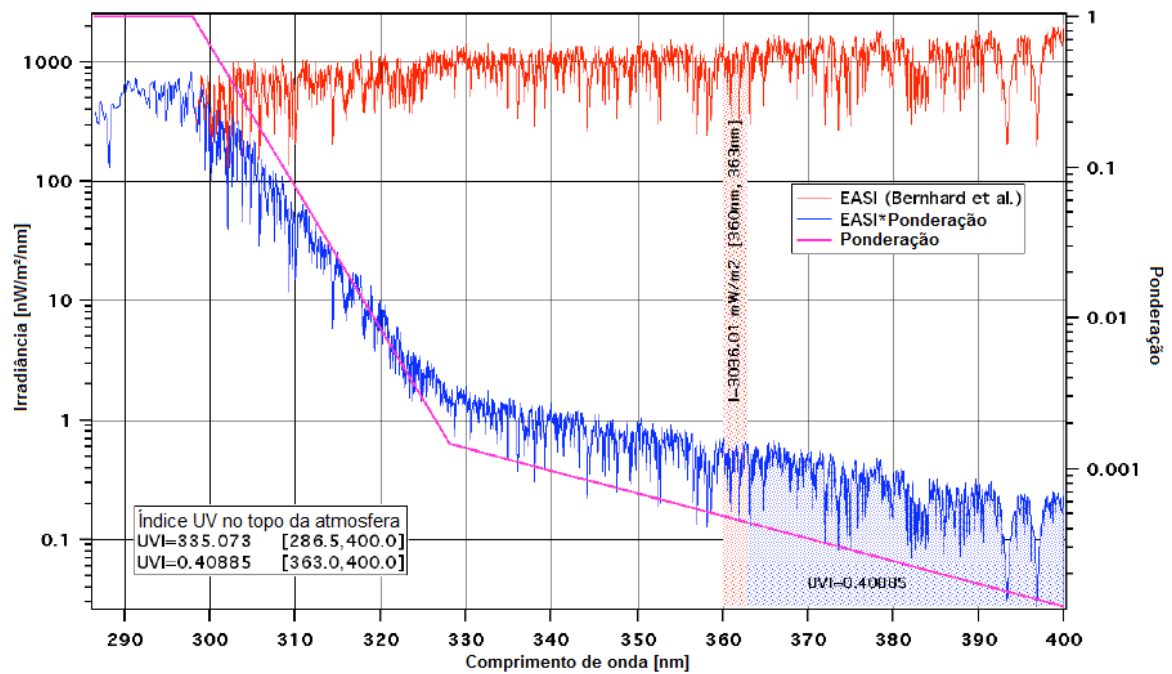


Figura 9: Aplicação da ponderação do eritema [Alterada de: KIEDRON, P. *et al.*, *Instantaneous UV Index and Daily UV Dose Calculations*].

importantes para o uso comum são a eritêmica, a de absorção de DNA e o espectro de ação do câncer não-melanoma [3]. Como visto na Figura 9, estabelece-se uma relação entre a irradiância absoluta e a curva de ação para se obter a irradiância ponderada e, assim, fazer um estudo concentrado na sua área de atuação.

Outra definição importante é a Dose Diária de UV, do inglês *daily UV dose* (DUVD), ou somente Dose, e é calculado por meio da integral do índice UV no tempo à luz do dia [11], conforme a Equação 2.9. A Dose pode ser entendida como a quantidade de energia a que uma determinada pessoa foi exposta num processo de irradiação [4].

$$Dose = \int_{t_1}^{t_2} IUUV(t)dt = \frac{1}{25 \frac{mW}{m^2}} \int_{t_1}^{t_2} \int_{286.5nm}^{400nm} I(\lambda) \cdot w(\lambda) d\lambda dt \quad (2.9)$$

Em que, t_1 é a hora do nascer do sol e t_2 é a hora do pôr-do-sol.

A Dose é dada em índice UV hora (IUUh), para limites de integração de tempo na unidade hora. Para converter de IUUh para kJ/m^2 , deve-se multiplicar por um fator de $0,09 = 25 \times 3,6/1000$ [11].

Na Figura 10, pode-se ver uma curva típica de índice UV ao longo do dia, na qual se nota que, por volta de meio-dia, obtém-se o maior índice UV.

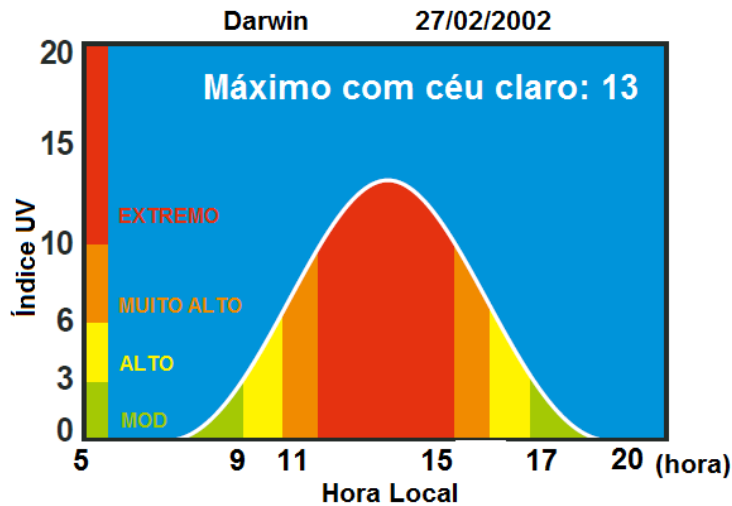


Figura 10: Curva típica de variação do índice UV ao longo do dia [Alterada de: WORLD HEALTH ORGANIZATION, *Global Solar UV-Index: A Practical Guide*.].

A classificação de índice UV adotada pela Organização Mundial de Saúde (WHO), dentre outros órgãos, pode ser vista na Tabela 6.

O INPE adota a classificação de cores, como mostra a Figura 11.

O termo Dose Eritêmica Mínima, ou MED, do inglês *Minimal Erythematol Dose*, deve

Tabela 6: Categorias de exposição da radiação UV. [2][4]

Classificação	Valor do IUV
Baixo	0 a 2
Moderado	3 a 5
Alto	6 a 7
Muito Alto	8 a 10
Extremo	maior ou igual a 11

Figura 11: Classificação do IUV por cores [Retirada de: <http://satelite.cptec.inpe.br/uv/> em 07/11/2012].

ser complementarmente definido, porque é amplamente utilizado entre os cientistas. Ele é usado para descrever a RUV potencialmente eritêmica. O valor de 1 MED é definido como a dose UV efetiva que causa uma perceptível vermelhidão em uma pele humana que não foi previamente exposta à RUV [3][6]. A pigmentação da pele é uma variável desta equação, pois cada pessoa tem uma proteção natural diferente da outra. Entre os europeus, 1 MED varia numa faixa de 200 a 500 J/m^2 . Existem estudos para a variação dos MED's para cada tipo de pele [3]. A Tabela 7 mostra alguns valores de MED em relação ao tipo de pele, cor de cabelo e cor do olho, como já visto anteriormente.

Tabela 7: Variação do valor de 1MED em relação ao tipo de pele, entre outros fatores [3].

Tipo de Pele	Bronzeia	Queima	Cor do Cabelo	Cor do Olho	1MED
I	nunca	sempre	ruivo	azul	200 J/m^2
II	às vezes	às vezes	loiro	azul/verde	250 J/m^2
III	sempre	raramente	castanho	cinza/castanho	350 J/m^2
IV	sempre	nunca	preto	castanho	450 J/m^2

A Figura 12 fornece um gráfico, definido pela norma DIN-5050, com o tempo aproximado em Minutos para queimar cada tipo de pele de acordo com o IUV [3].

É possível ter uma visão geral da variação do IUV durante o ano e durante o dia para diversas latitudes, como mostra a Figura 13.

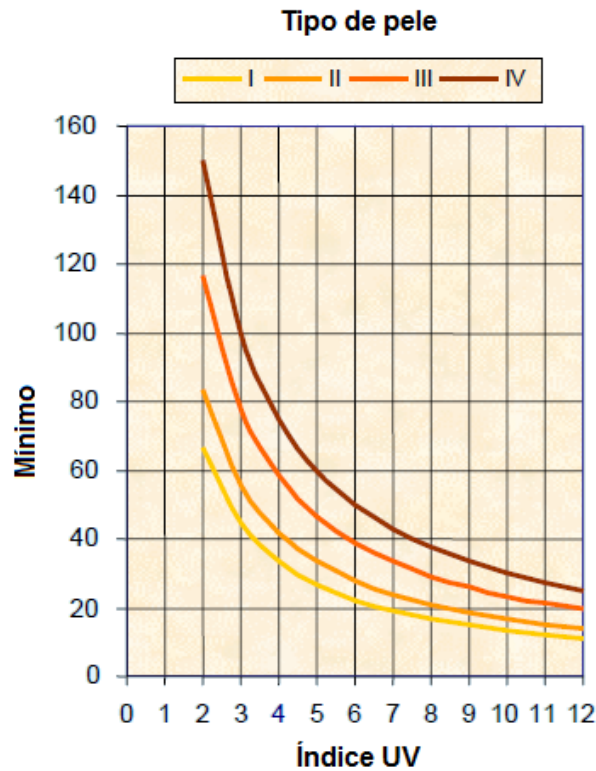


Figura 12: Tempo para queimar a pele em minutos de acordo com o tipo de pele [Alterada de: VANICEK, K. *et al.*, *UV-Index for the Public*.].

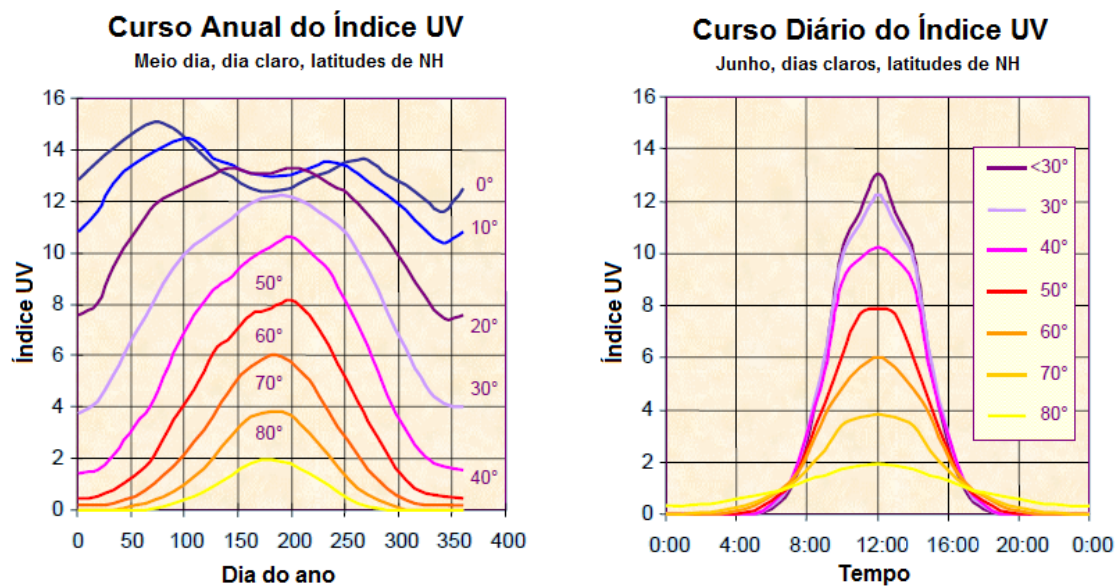


Figura 13: Curso anual do IUV para diferentes latitudes ao meio-dia, em dias claros e ao nível do mar. Curso diário de IUV para diferentes latitudes em Junho e em dias claros [Alterada de: VANICEK, K. *et al.*, *UV-Index for the Public*.].

3 *Materiais e Métodos*

Foram apresentados alguns conceitos em relação à radiação UV e à medida do índice UV.

Os principais desafios na medição do índice UV são a escolha adequada do sensor para medidas de índice UV e dos componentes eletrônicos envolvidos, para que se tenha um sistema robusto em que se possa adicionar, a posteriori, num painel eletrônico e no Totem UV, já desenvolvido pelo Laboratório de Instrumentação Oftálmica - LIO.

Neste capítulo serão feitas todas as considerações, análises e cálculos utilizados para a confecção do protótipo de medidas de índice ultravioleta, assim como, a metodologia adotada para a realização do mesmo.

3.1 O Sistema

O sistema, como um todo, consiste em um sensor de ultravioleta, sensível à região espectral de 280 a 400 nm; um circuito que receba este sinal e trate o sinal; um programa que transforme o dado recebido em IUV; e uma interface para disponibilizar ao usuário o resultado do dado, no formato de IUV, numa escala de 1 a 16, para o Brasil.

Para isso, o LIO adquiriu o sensor de UV, importado da Alemanha, modelo *UV-Cosine* da marca SGLUX, que já possui a correção do cosseno, para que a cada posição do Sol durante o dia, tenhamos o resultado da irradiação já corrigido. Este sensor é apropriado para uso externo, com proteção contra chuva, dentre outras intempéries. Possui um cabo de 1,5m de comprimento para enviar o sinal para um circuito que pode ficar abrigado, sem estar exposto ao tempo.

O diagrama de blocos da Figura 14 ilustra o funcionamento do sistema. Os passos abaixo explicam o funcionamento de cada bloco.

1. O sensor de índice UV envia um sinal de tensão para o conversor AD (CAD) do microcontrolador;

2. a conversão de analógico para digital é feita;
3. o dado convertido é enviado pelo canal serial RS-232 (TX) em nível CMOS para o Bluetooth (BT);
4. o rádio Bluetooth recebe a informação no canal serial (RX);
5. o dado recebido é ecoado do módulo 1 para o módulo 2 pelo rádio BT;
6. o BT repassa a informação pela serial (TX) para o microcontrolador;
7. o microcontrolador recebe os dados em seu canal serial (RX) e os processa;
8. e, finalmente, repassa os dados via comunicação USB para o computador.

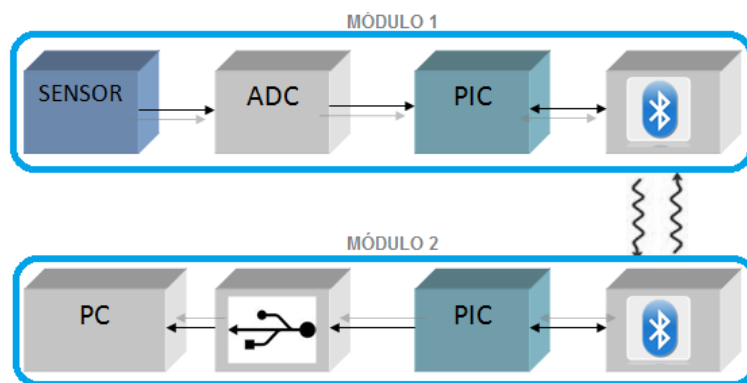


Figura 14: Diagrama de blocos ilustrativo do protótipo para medição do índice ultravioleta na superfície terrestre desenvolvido no LIO.

3.2 Metodologia

Nesta seção, falar-se-á de cada passo envolvido na criação do protótipo de medidas de índice ultravioleta.

3.2.1 Sensor de Índice Ultravioleta

O sensor escolhido para o projeto foi o *UV-Cosine* da marca SGLUX que, além de ser à prova d'água, possui correção de cosseno. A foto dele pode ser vista na Figura 15.

Um ponto importante para a escolha do sensor de IUV foi a sua resposta espectral. Ele precisaria integrar a irradiância UV com uma curva bem próxima ao espectro de ação eritêmica para que o transdutor pudesse devolver o índice UV, ou em tensão, ou em corrente. Na Figura 16 pode ser visto a resposta do sensor comparada à resposta de ação



Figura 15: Foto do sensor de IUV [Folha de dados do fabricante: http://www.sglux.com/uploads/tx_ttproducts/datasheet/UV-Sensor_UV-Cosine.pdf].

eritêmica adotada pela CIE. Segundo a folha de dados do fabricante, este sensor possui um erro menor que 3% para cada medida de IUV. Este sensor também possui correção de cosseno, como pode ser visto na Figura 17, item este obrigatório para qualquer medidor, segundo a ICNIRP, devido às variações do ângulo zenital [5].

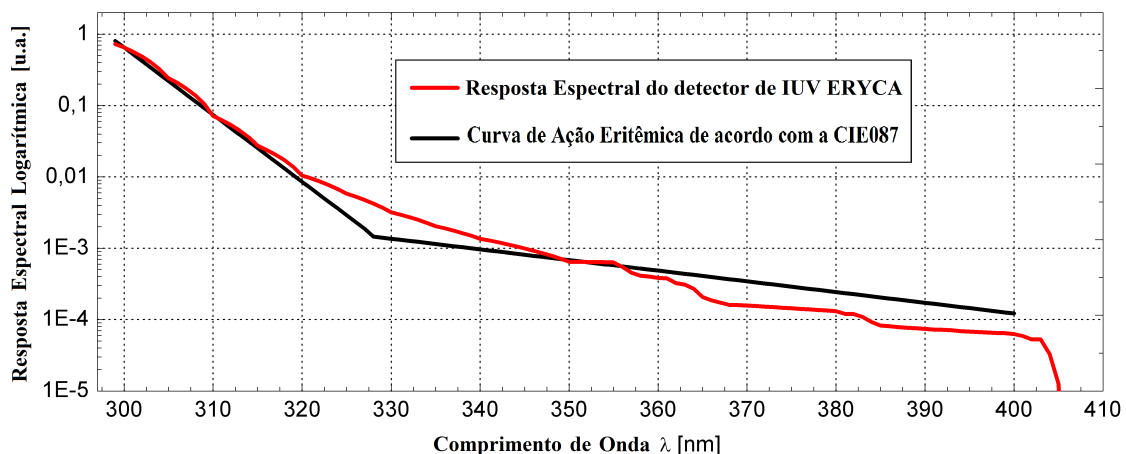


Figura 16: Curva de ação eritêmica da CIE comparada ao do sensor de IUV [Folha de dados do fabricante: http://www.sglux.com/uploads/tx_ttproducts/datasheet/UV-Sensor_UV-Cosine.pdf].

Este sensor já possui uma amplificação de transimpedância integrada e fornece num intervalo de 0 a 5 Volts (V) o índice ultravioleta, onde para cada índice se soma 0,115 V, i.e., a tensão para índice UV de 1 é 0,115 V. Dessa maneira, o máximo índice que o sensor mediria seria de 5/0,115, que é igual a, aproximadamente, 43, valor este que

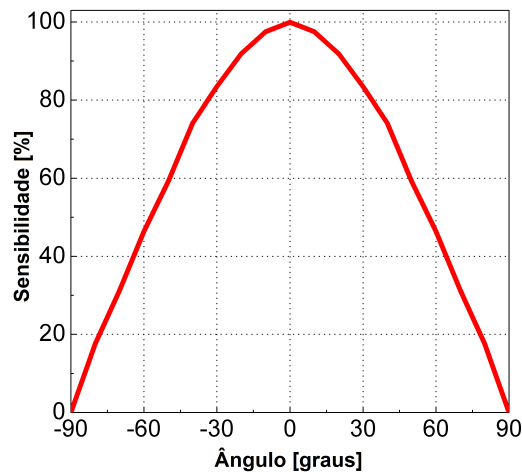


Figura 17: Ângulo de recepção do sinal, isto é, correção de cosseno do sensor de IUV [Folha de dados do fabricante: http://www.sglux.com/uploads/tx_ttproducts/datasheet/UV-Sensor_UV-Cosine.pdf].

não é possível de ser atingido na superfície da Terra, teoricamente. A Figura 18 mostra o circuito proposto pelo fabricante para as ligações do sensor. O sensor pode ser alimentado com uma tensão DC entre 7 e 24 V e seu consumo máximo de corrente é de 30 mA. A conexão do sensor é feita via quatro fios coloridos como descritos a seguir:

1. Branco: +V.
2. Marrom: *Ground*, ou terra.
3. Preto: *Shield*, ou blindagem.
4. Verde: Sinal.

O fabricante recomenda que o fio preto (*Shield*) seja conectado junto ao *GND* da Placa de Circuito Impresso (PCI) para que a blindagem seja adequada. Isso evita que ruídos espúrios sejam introduzidos na medição.

Decidiu-se alimentar o sensor de IUV com 12 Volts, por isso, criou-se uma fonte de alimentação genérica para se iniciar os testes.

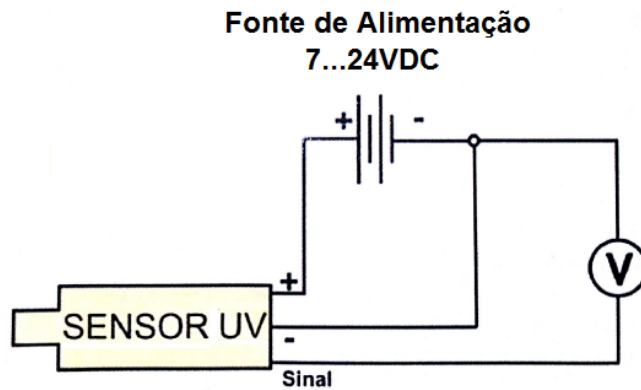


Figura 18: Circuito proposto pelo fabricante para a medição do IUV [Folha de dados do fabricante: http://www.sglux.com/uploads/tx_ttpproducts/datasheet/UV-Sensor_UV-Cosine.pdf].

3.2.2 Protótipo da Fonte de Alimentação

O sistema necessita de dois valores de tensão de alimentação, na qual o PIC e o módulo Bluetooth são alimentados com 3,3 V DC e, decidiu-se alimentar o sensor com 12 V DC. Projetou-se, complementarmente, uma alimentação de 5 V, pensando em possíveis mudanças no projeto, isso, porque é muito comum encontrar microcontroladores que trabalham com 5 V, e.g., o PIC18F4550 da Microchip.

Utilizaram-se apenas reguladores da família LM78XX. Optou-se por utilizar o LM78L12 para a alimentação do sensor UV, pois este consome no máximo 30 mA. Este regulador tem um encapsulamento TO-92, que é bem menor, comparado ao TO-220 do LM7805 e LM7833, e fornece, no máximo, 100 mA. Já para as alimentações de 5 V e 3,3 V utilizaram-se os reguladores LM7805 e LM7833, respectivamente. Em ambos, o máximo de corrente que eles fornecem é 1 A, no entanto, para a alimentação de 3,3 V, o máximo de corrente que será consumida é de 400 mA, aproximadamente.

A placa projetada é de face simples para simplificar o método de produção e no apêndice A é possível ver o esquemático completo. A PCI produzida e a montagem desta podem ser vistas na Figura 19.

Na Figura 20 é possível ver a montagem do protótipo da fonte de alimentação.

O diagrama de blocos da fonte de alimentação proposto está apresentado na Figura 21.

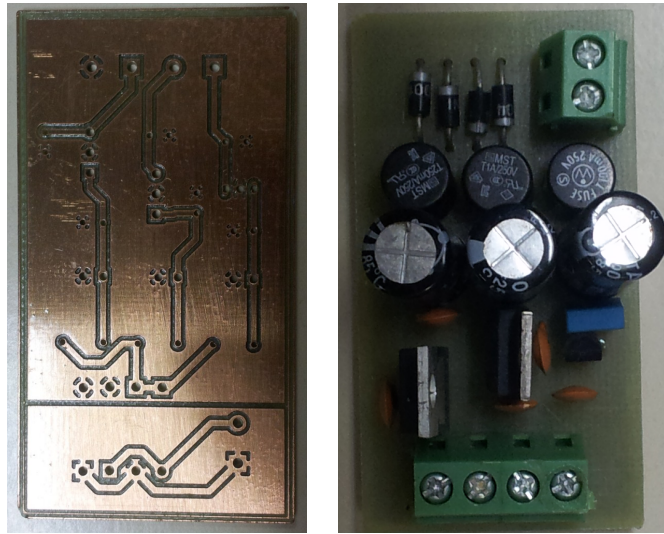


Figura 19: PCI projetada e montada do protótipo da fonte de alimentação.

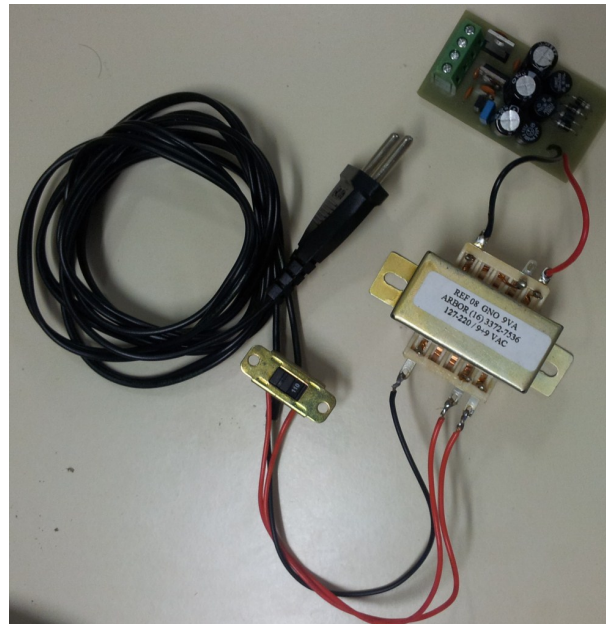


Figura 20: Montagem do protótipo da fonte de alimentação.

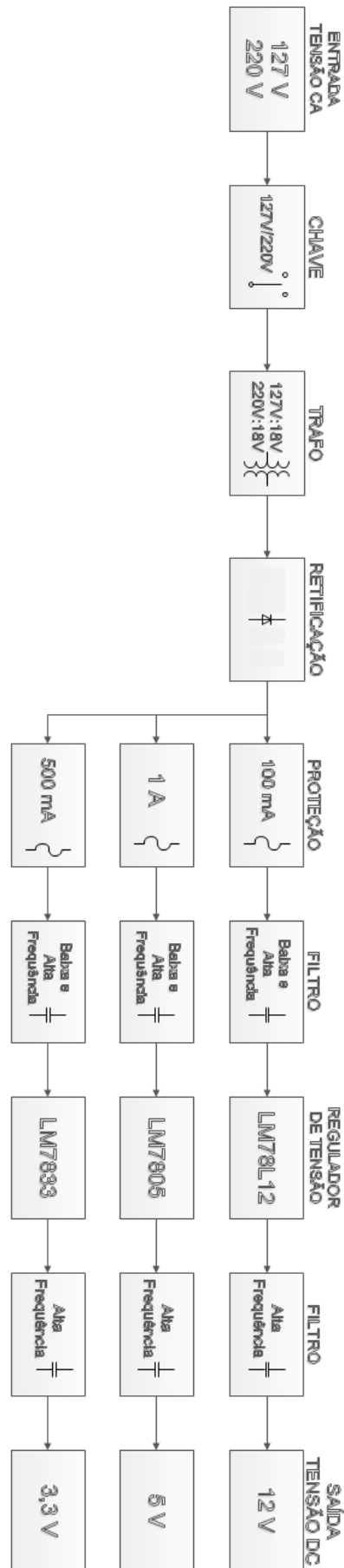


Figura 21: Diagrama de blocos ilustrativo do protótipo da fonte de alimentação.

3.2.3 Protótipo de Teste - PIC24FJ64GB002

Escolheu-se trabalhar com o microcontrolador PIC24FJ64GB002 da Microchip com o encapsulamento do tipo QFN de 28 pinos conforme a Figura 22. Ele foi escolhido, devido às necessidades do Laboratório de Instrumentação Oftálmica de se criar sistemas mais potentes. Ele possui as seguintes configurações:

1. Arquitetura de 16 bits;
2. velocidade da CPU de 16 MIPS (*Million Instructions per Second*);
3. tensão de operação na faixa de 2,0 a 3,6 V;
4. dois periféricos UART de comunicação digital;
5. sete entradas tolerantes a até 5,5 V;
6. quinze pinos reconfiguráveis (RPx);
7. onze entradas para sinal analógico (ANx);
8. e, uma USB 2.0 OTG (*On-The-Go Full Speed*).

Neste sistema não se utilizará toda a capacidade deste PIC, todavia, para futuras atualizações, tais configurações podem ser úteis. Os diagramas de blocos na Figura 23 exemplificam as comunicações que o PIC fará com as outras partes do sistema, referentes ao Módulo 1 e ao Módulo 2, respectivamente.

Decidiu-se criar uma placa de teste para o PIC, de maneira que se pudesse entender cada parte do sistema antes de se projetar uma placa final, evitando erros de projeto, desviando-se, assim, de problemas típicos de protótipos, principalmente aqueles, muito vistos quando se usam *protoboards*. Um exemplo comum, é a quebra de fios.

O fabricante indica alguns pontos importantes a serem seguidos para o sucesso da placa de circuito impresso. Eles são:

1. Todos os pinos de V_{DD} e V_{SS} devem estar conectados.
2. Capacitores cerâmicos de $0,1 \mu F$ de desacoplamento devem ser conectados a uma distância máxima de 6 mm do pino de V_{DD} .
3. O pino DISVREG deve ser ligado ao GND para habilitar o regulador interno do PIC.

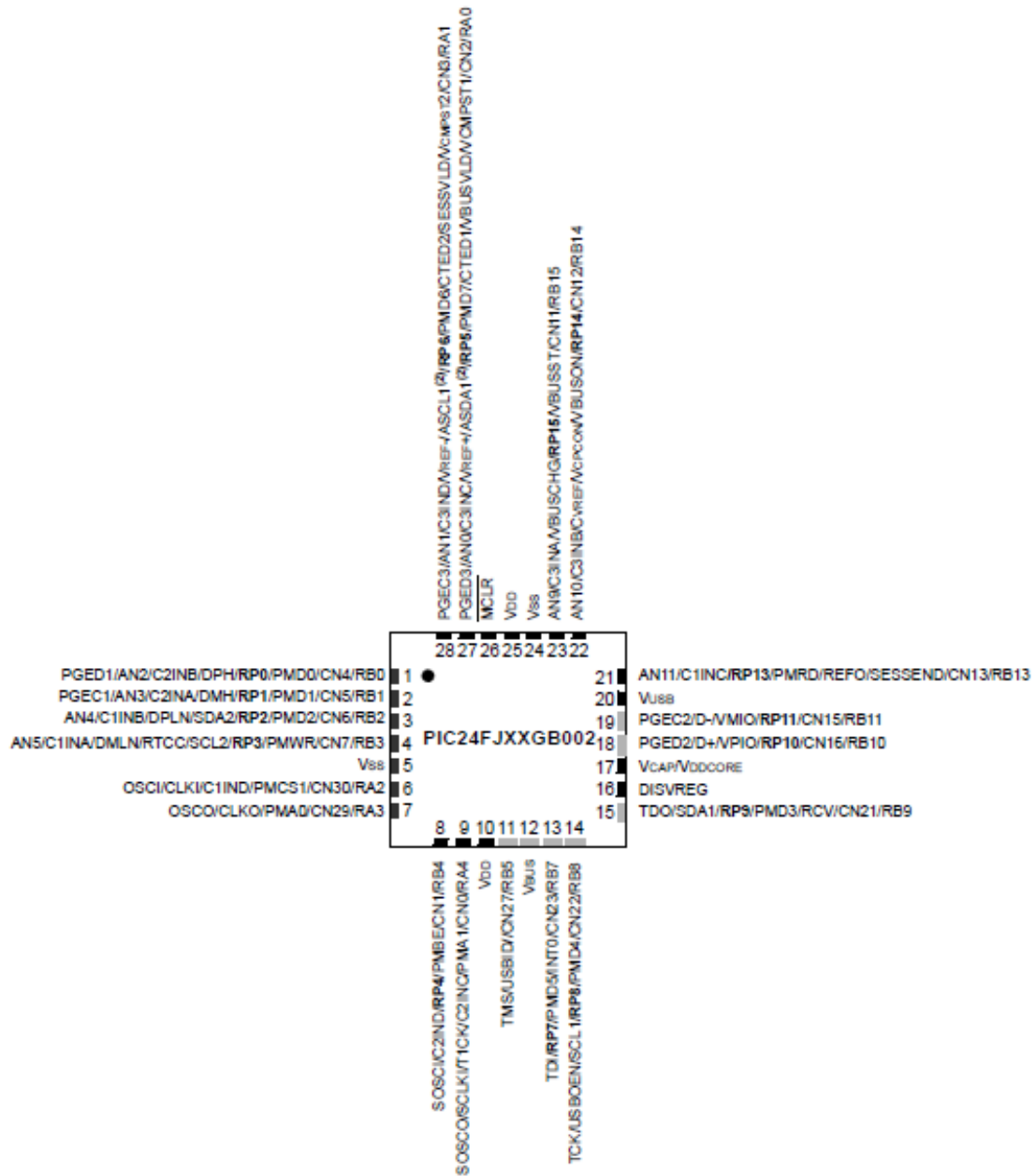


Figura 22: Encapsulamento do PIC24FJ64GB002 [Folha de dados do fabricante: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39940d.pdf>].

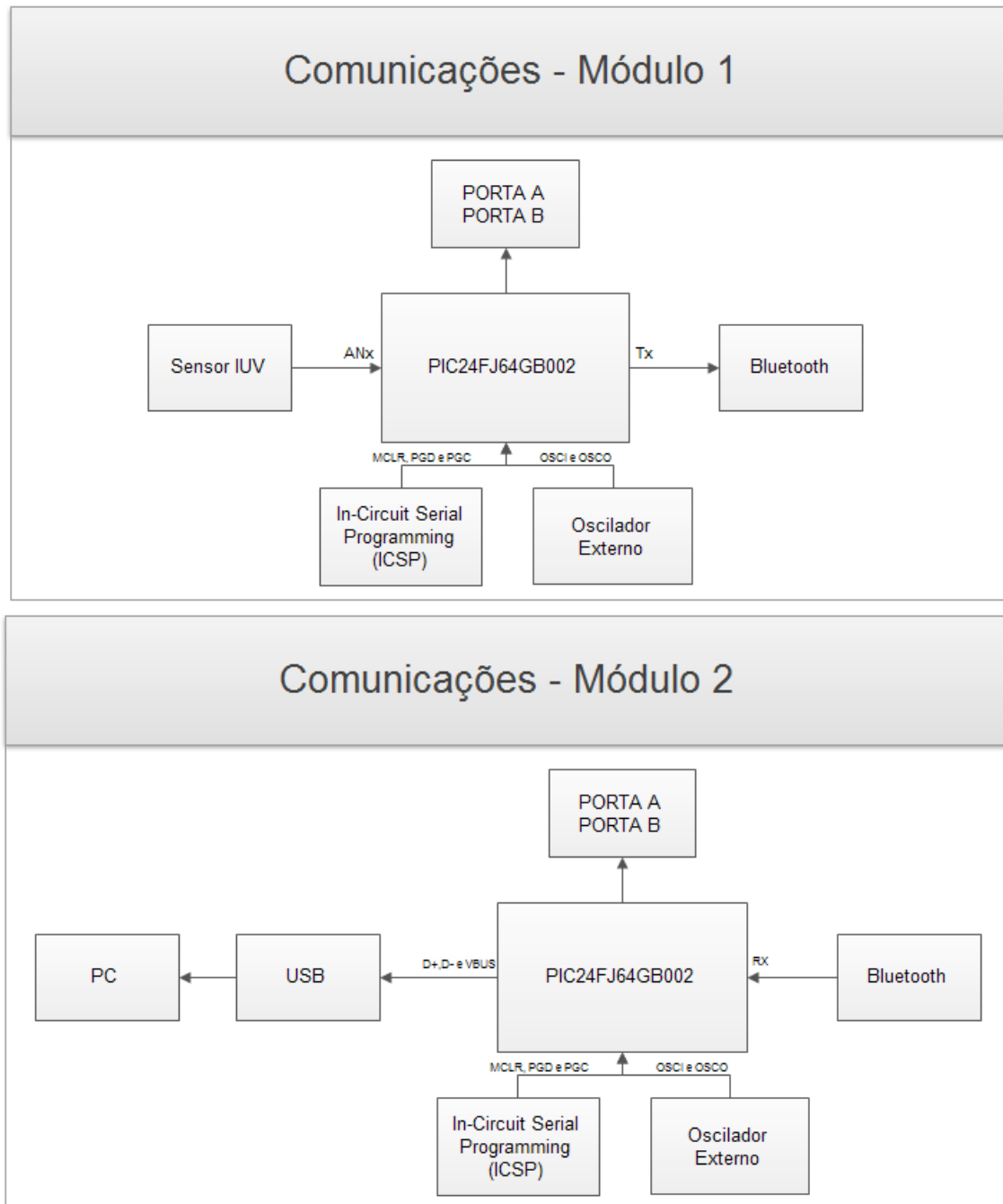


Figura 23: Comunicações realizadas pelo PIC24FJ64GB002 no módulo 1 e no módulo 2, respectivamente.

4. Os pinos PGECx e PGEDx são usados para o *In-Circuit Serial Programming* (ICSP). Optou-se pelo PGEC3 e PGED3.
5. Um capacitor de tântalo de $10\ \mu F$ e $6,3\ V$ em paralelo com um capacitor cerâmico de $0,1\ \mu F$ devem ser colocados no pino V_{CAP}/V_{DDCORE} e não devem ultrapassar a distância de 6 mm do microcontrolador.

O fabricante também indica a utilização da seguinte conformação para os osciladores, como mostra a Figura 24.

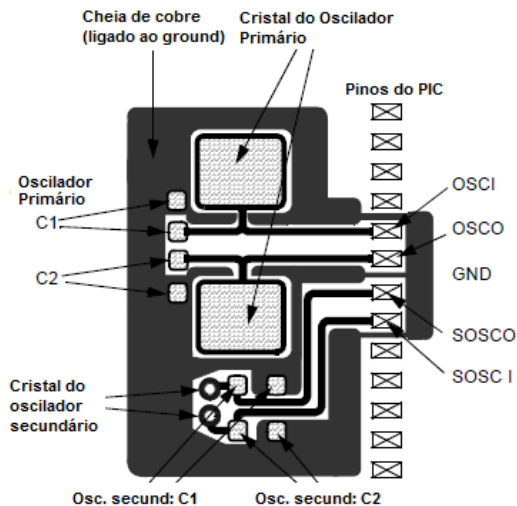


Figura 24: Configuração dos osciladores indicada pelo fabricante [Alterada da folha de dados do fabricante: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39940d.pdf>].

Observa-se na Figura 25 as trilhas a PCI projetada, na qual cada trilha possui uma espessura de 0,3 mm.

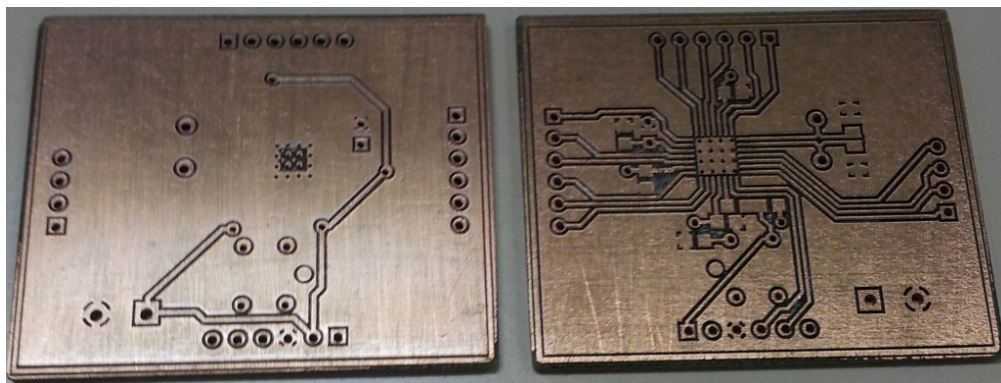


Figura 25: Placa de circuito impresso projetada para o protótipo de testes do PIC.

Na Figura 26 vê-se a placa de testes do PIC montada com os componentes. Decidiu-se pela utilização de resistores e capacitores SMD (*Surface-mount Device*), todos com

footprint do código 0805, que possui tamanho de $2,0 \times 1,3$ mm. No apêndice B está apresentado o esquemático desta placa.

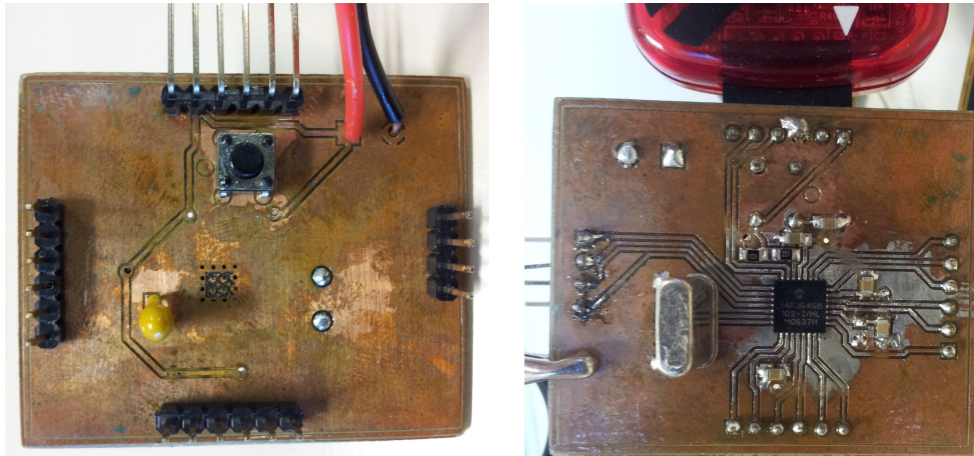


Figura 26: PCI com os componentes do protótipo de testes do PIC.

3.2.4 Protótipo de Teste - Bluetooth

Escolheu-se trabalhar com o módulo classe 1 de rádio Bluetooth (BT) do tipo RN-41 da marca Roving Networks devido aos seus baixos fator de forma (*small form factor - SFF*), custo e potência. Ele é ideal para projetistas que querem adicionar capacidade sem fio ao seu produto sem gastar tempo e dinheiro excessivo com desenvolvimento de *hardware* e *software* para Bluetooth. O RN-41 suporta múltiplos protocolos de interface, é de fácil projeto e totalmente certificado. Tal rádio é capaz de entregar dados a uma velocidade acima de 3 Mbps a distâncias acima de 100 metros.

A Figura 27 mostra o diagrama de blocos do seu funcionamento interno.

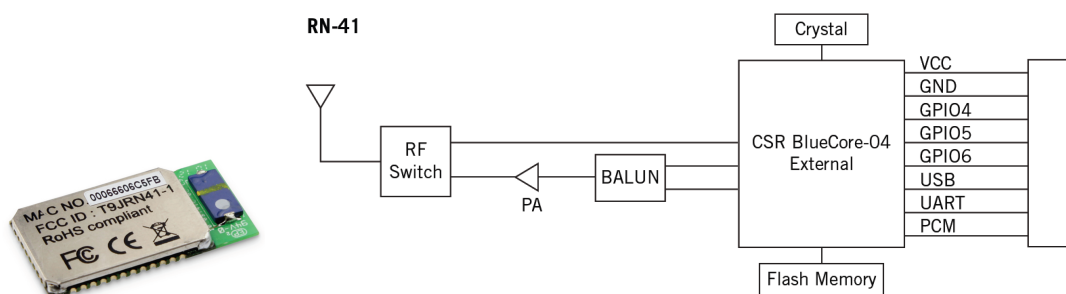


Figura 27: Diagrama de blocos do funcionamento interno do RN-41 [Folha de dados: http://www.rovingnetworks.com/resources/download/18/RN_41].

Alguns parâmetros do RN-41 devem ser apresentados a este trabalho, pois foram importantes para o projeto do protótipo da fonte de alimentação, por exemplo:

1. Tensão de alimentação: 3,0 a 3,6 V.

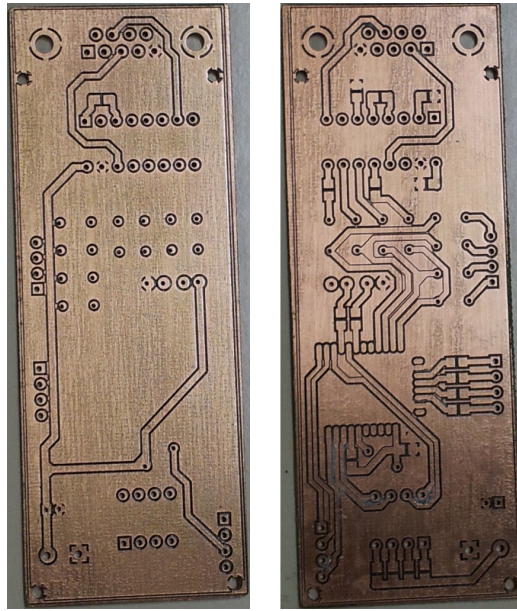


Figura 29: Frente e verso da PCI projetada para este protótipo de teste.

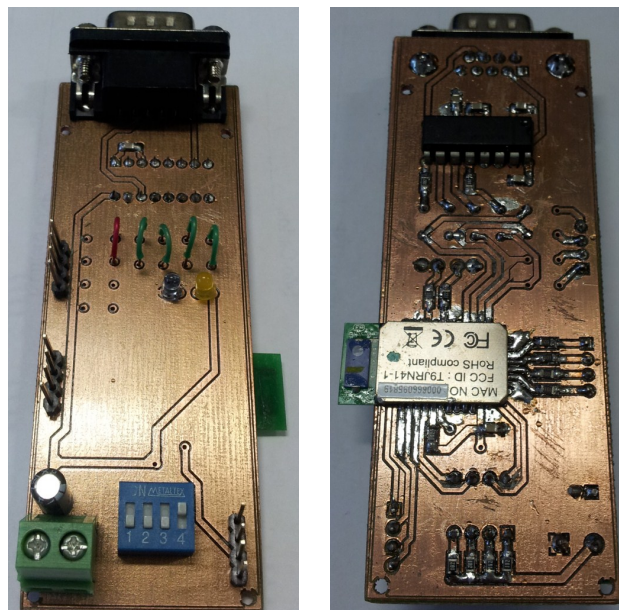


Figura 30: PCI com os componentes do protótipo de testes do Bluetooth.



Figura 31: Módulo RN-42-SM [Folha de dados: http://www.rovingnetworks.com/resources/download/20/RN_41_SM_RN_42_SM.]

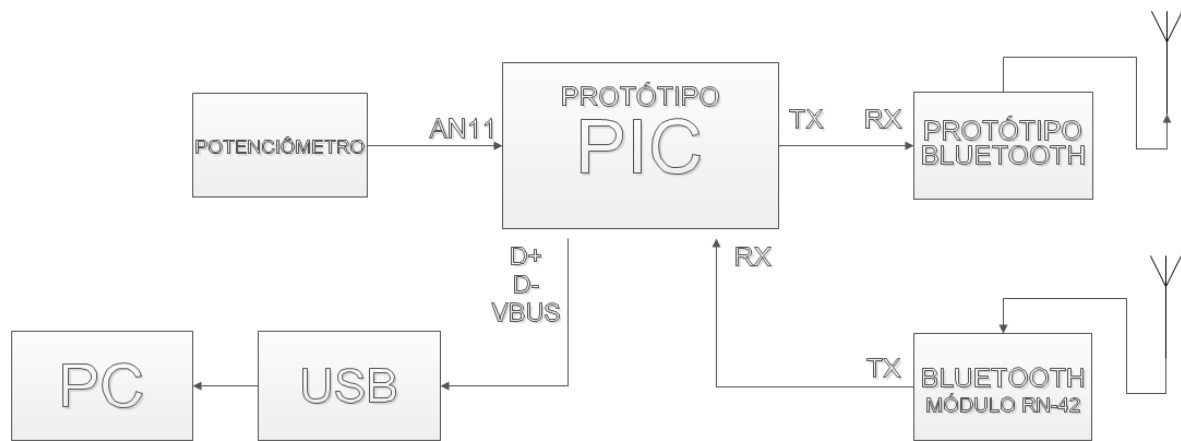


Figura 32: Diagrama de blocos do funcionamento do protótipo final.

Como pode ser visto, na Figura 33, foi feita a montagem do sistema para se receber dados via USB. Neste momento, utilizou-se um potenciômetro para variar a tensão na entrada da porta AN11 do PIC. Esta foi utilizada para fazer a conversão do dado de tensão analógica para digital, para que, depois, fosse enviada via Bluetooth do módulo 1 para o módulo 2.

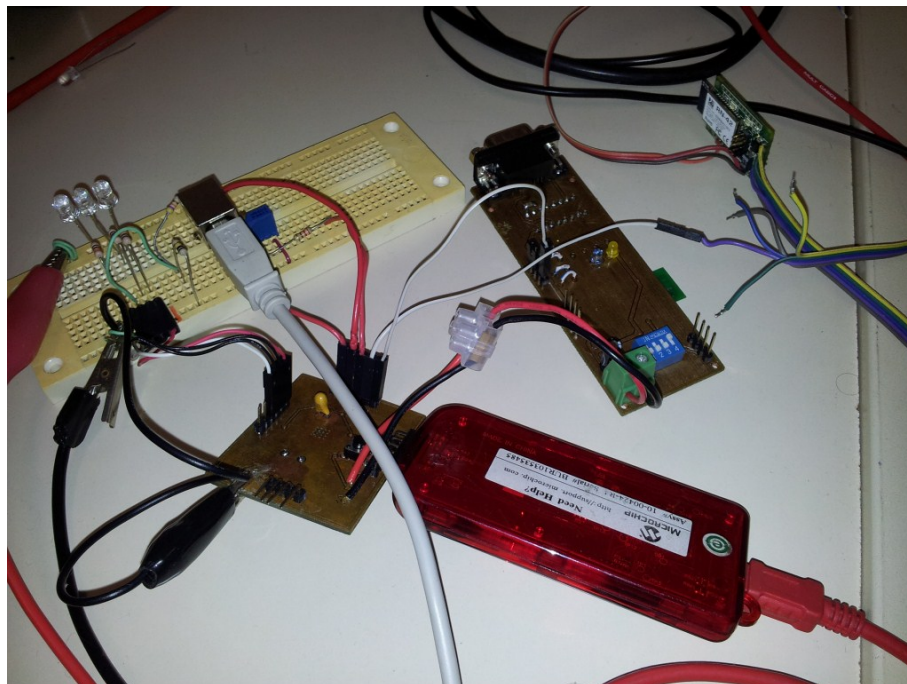


Figura 33: Montagem do protótipo final.

O conversor AD (CAD, em português, ou *ADC*, em inglês) do PIC é de 10 bits, no entanto, devido a sua capacidade de sobreamostragem (*oversampling*), pode-se usar uma resolução de $65.472 = (2^{10} - 1) \times 2^6$, o que aumenta o tempo de amostragem para 99,1 milissegundos. Esse aumento no tempo de amostragem não foi um problema, porque não se necessitava de uma conversão rápida, pois cada dado de índice UV deve ser mostrado

com uma média de no mínimo 5 minutos [4]. Com isso, pode-se analisar, tendo em mente que o sensor trabalha com uma variação de 115 mV/IUV, como o CAD funciona.

1. $V_{REF+} = 3,3 \text{ V}$, que é o valor em tensão da referência positiva do CAD.
2. $V_{REF-} = 0 \text{ V}$, que é o valor em tensão da referência negativa do CAD.
3. IUV_1 , que é IUV de 1 em tensão, i.e., 115 mV.
4. RES , que é a resolução do CAD, i.e., 65.472.

Com os dados mencionados, é possível calcular o passo de amostragem do CAD em Volts, como pode ver-se na Equação 3.1.

$$PASSO = \frac{V_{REF+} - V_{REF-}}{RES} = \frac{3,3 - 0}{65.472} = 50,40322580 \mu V \quad (3.1)$$

Conseguido o passo de amostragem, pode-se calcular o valor do CAD para índice UV de 1 conforme Equação 3.2.

$$IUV_1(CAD) = \frac{IUV_1}{PASSO} = \frac{115mV}{50,40322580 \mu V} = 2.281,6 \quad (3.2)$$

Com tal dado é possível, também, prever o máximo IUV que este sistema suporta, como pode ser visto na Equação 3.3.

$$IUV_{MAX} = \frac{RES}{IUV_1(CAD)} = \frac{65.472}{2.281,6} = 28,7 \quad (3.3)$$

O IUV máximo pode ser calculado, arbitrariamente, pela Equação 3.4.

$$IUV_{MAX} = \frac{V_{REF+} - V_{REF-}}{IUV_1} = \frac{3,3V}{0,115V} = 28,7 \quad (3.4)$$

Conforme esperado, os valores são equivalentes.

O circuito utilizado no protótipo final para a simulação do CAD, pode ser visto na Figura 34, que, como se vê, é apenas um potenciômetro ligado nas referências positiva e negativa, e com seu terminal central conectado ao pino AN11 do PIC.

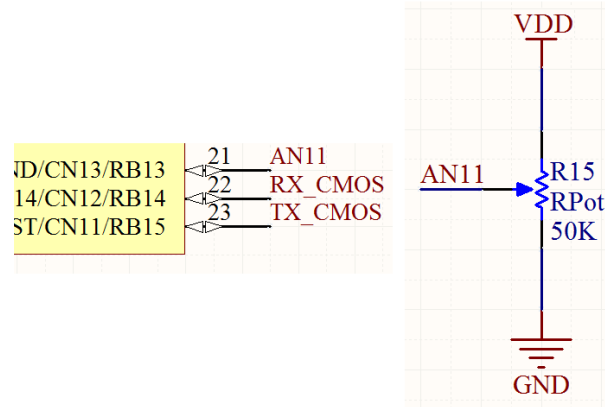


Figura 34: Modelo utilizado para simular o sensor.

A Figura 35 mostra esquemático do circuito utilizado para a comunicação USB entre PIC e PC. A tensão V_{CC} de 5 Volts é fornecida pelo próprio computador via cabo USB. Os pinos VBUS, D- e D+, ligam-se aos seus respectivos pinos do PIC.

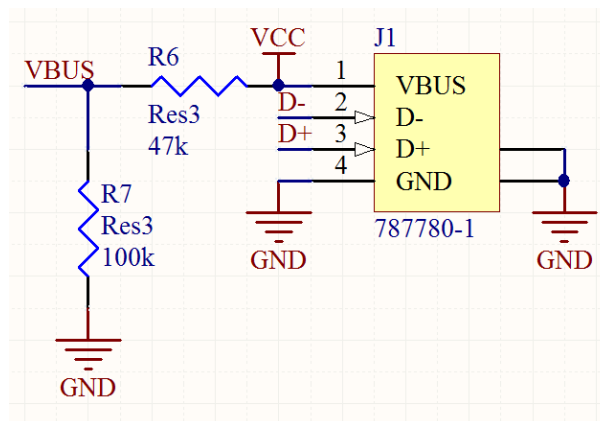


Figura 35: Esquemático utilizado para a comunicação USB.

A partir deste momento, decidiu-se inserir LED's (*Light-emitting diodes*) de alto brilho para a sinalização da comunicação entre o PIC e o Bluetooth e entre o PIC e PC, como se vê na Figura 36. Utilizaram-se três LED's: um branco, para sinalizar o início da comunicação serial RS-232 de nível CMOS entre o PIC e o Bluetooth; um vermelho, para sinalizar o fim da comunicação serial RS-232 de nível CMOS entre o PIC e o Bluetooth; e, finalmente, um LED azul, para sinalizar o início e o fim da comunicação USB entre o PIC e o computador.

Com este sistema montado foi possível iniciar-se a parte de programação, item este que será visto na subseção 3.2.6 seguinte.

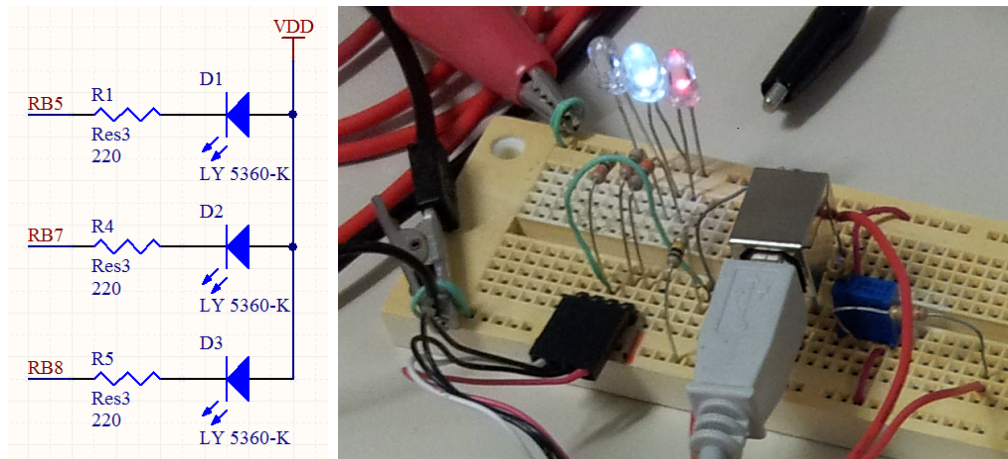


Figura 36: Funcionamento dos LED's e seu respectivo esquemático.

3.2.6 Programação - Protótipo Final

Nesta subseção falar-se-ão dos algoritmos criados para funcionamento do protótipo final.

3.2.6.1 Programação dos módulos Bluetooth

Os dispositivos Bluetooth da marca Roving Networks são programados numa linguagem de comando ASCII simples que é similar ao protocolo padrão da indústria Hayes AT. Com o intuito de se programar os módulos Bluetooth, utilizou-se o terminal Blueterm, disponível para Android. Os códigos foram implementados neste terminal no *smartphone* Galaxy S2 modelo GT-I9100 da marca Samsung, devido à necessidade de se definir por código se a programação poderia ser feita localmente ou remotamente, pois o *default* do RN-41 é definido como remoto. Necessitava-se, assim, de um ambiente com Bluetooth para a primeira implementação de código. Poder-se-ia implementar este algoritmo num computador com Bluetooth disponível, todavia, não havia nenhum disponível no momento.

Para que um código implementado funcione, é necessário reiniciar o módulo. Sendo assim, o algoritmo do Bluetooth não pode ser implementado de uma única vez. A taxa de transmissão entre Bluetooths foi o primeiro passo a ser tomado, porque o *default* é 115.200 bauds. Pode-se tanto mudar este parâmetro via programação, quanto via *hardware* e, neste caso, optou-se pela segunda.

Tendo a taxa de transmissão ajustada, imediatamente após ligar o módulo Bluetooth, tem-se 60 segundos para estabelecer a conexão com o Terminal e, após estabelecida, tem-se mais 60 segundos para se implementar o código no terminal. Ao digitar, primeiramente, "\$\$\$", o Bluetooth responde com a palavra "CMD", dizendo, assim, que ele está disponí-

vel para a inserção do código. O primeiro comando implementado, "ST,255", serve para que não haja mais este limite de 60 s, podendo, assim, programá-lo indefinidamente, tanto localmente, quanto remotamente. O segundo comando, "S-,MEDIDORUV1", muda o nome do dispositivo e coloca o MAC do Bluetooth no fim, criando um nome único para o dispositivo. Para o entendimento do código, ele foi escrito da maneira que se escreve no terminal e a resposta obtida no terminal dada pelo Bluetooth. É importante acrescentar que o comando — — —" deve ser digitado ao fim do código para que a implementação do código seja feita, senão nada acontecerá após reiniciar o módulo. A resposta comum do Bluetooth é AOK, como pode ser visto no código abaixo.

```
$$$ CMD
ST,255
    AOK
S-,MEDIDORUV1
    AOK
—
```

Implementou-se o mesmo código no módulo RN-42, no entanto, com o nome alterado, conforme descrito a seguir.

```
$$$ CMD
ST,255
    AOK
S-,MEDIDORUV2
    AOK
—
```

Com os dois dispositivos disponíveis por tempo indeterminado, implementou-se no módulo RN-42 um comando de aviso de conexão. Caso a conexão seja feita com outro Bluetooth, ele envia pelo canal TX a mensagem desejada. O código implementado foi "SO,MED\r\n". O código foi implementado desta maneira, para que o PIC entendesse o que ele estava recebendo.

```
$$$ CMD
SO,MED\r\n
    AOK
—
```

Finalmente foi possível implementar no terminal a comunicação do dois dispositivos. Para isso, era importante implentar o código que o fizesse. O comando "I,30" faz uma procura pelos dispositivos Bluetooth no ambiente por 30 segundo e, após isso, ele responde com o CODE de cada um, que é o endereço único que o BT possui. O comando

"SR,0006664219A3" foi utilizado para que ele armazenasse o CODE do MEDIDORUV2. Implementou-se o comando de auto-conexão, "SM,3", para que o MEDIDOR1 sempre se conectasse automaticamente ao endereço armazenado do MEDIDOR2 e não pudesse mais ser acessado.

```

$$$ CMD
I,30
  Inquiring
    0006664219A3,MEDIDOR2
SR,0006664219A3
  AOK
SM,3
  AOK

```

Reiniciou-se ambos os dispositivos e, a partir daí, iniciou-se com a programação do microcontrolador.

3.2.6.2 Programação do PIC

Utilizou-se o PICKIT3 da marca Microchip juntamente com o MPLAB IDE para se programar o PIC24FJ64GB002 através do ICSP. O compilador utilizado, CCS C, tem a vantagem de ser em um nível mais alto de programação na linguagem C, contudo, ele ocupa uma maior área da memória do PIC. Apesar disso, ele se mostrou eficiente e suficiente para que se obtesse mais rapidamente um código funcional.

Na Figura 37 é possível ver o diagrama de blocos representativo do programa criado para o funcionamento do protótipo final. O Apêndice F mostra o código fonte completo implementado no PIC.

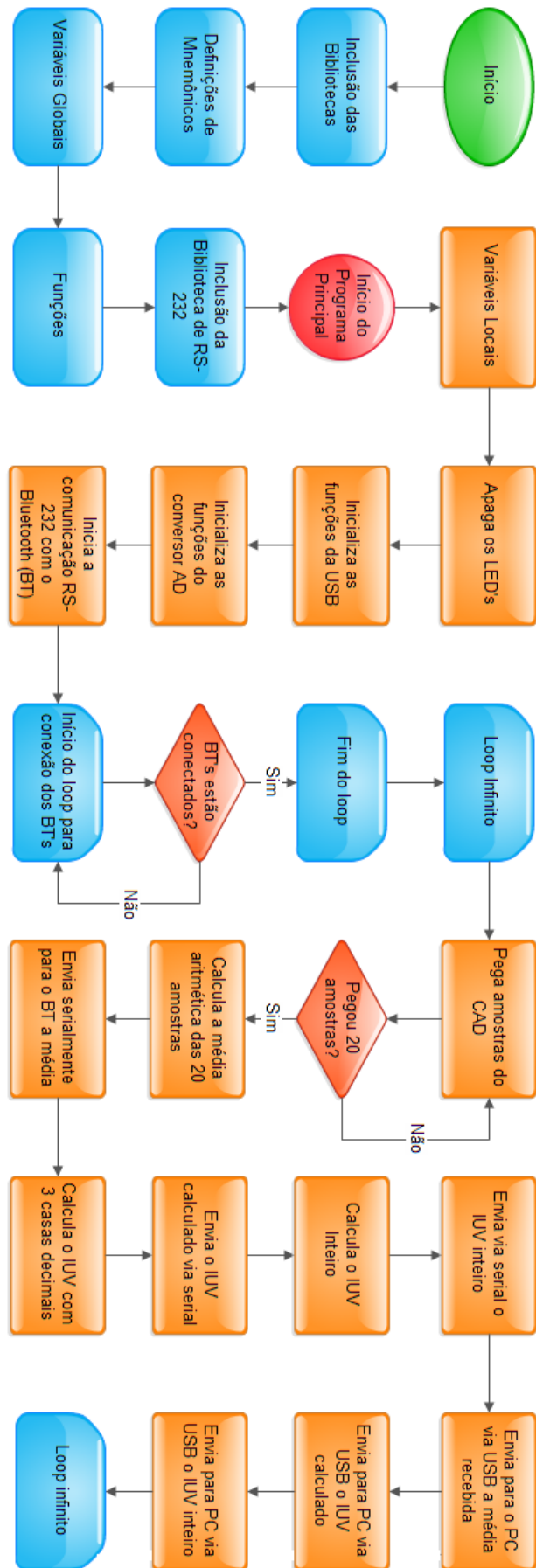


Figura 37: Diagrama de blocos representativo do software do PIC.

3.2.7 Placas Finais - Módulo 1 e Módulo 2

Para a criação das PCI's finais do módulo 1 e módulo 2, foi necessária a união do conhecimento de desenvolvimento adquirido nos quatro protótipos das seções anteriores. Não foi possível produzi-las fisicamente, somente teoricamente, conforme mostradas na Figura 38 e na Figura 39. Ambas as figuras mostram as funcionalidades de cada região da placa. Nos apêndices D e E é possível ver os esquemáticos completos do módulo 1 e do módulo 2, respectivamente.

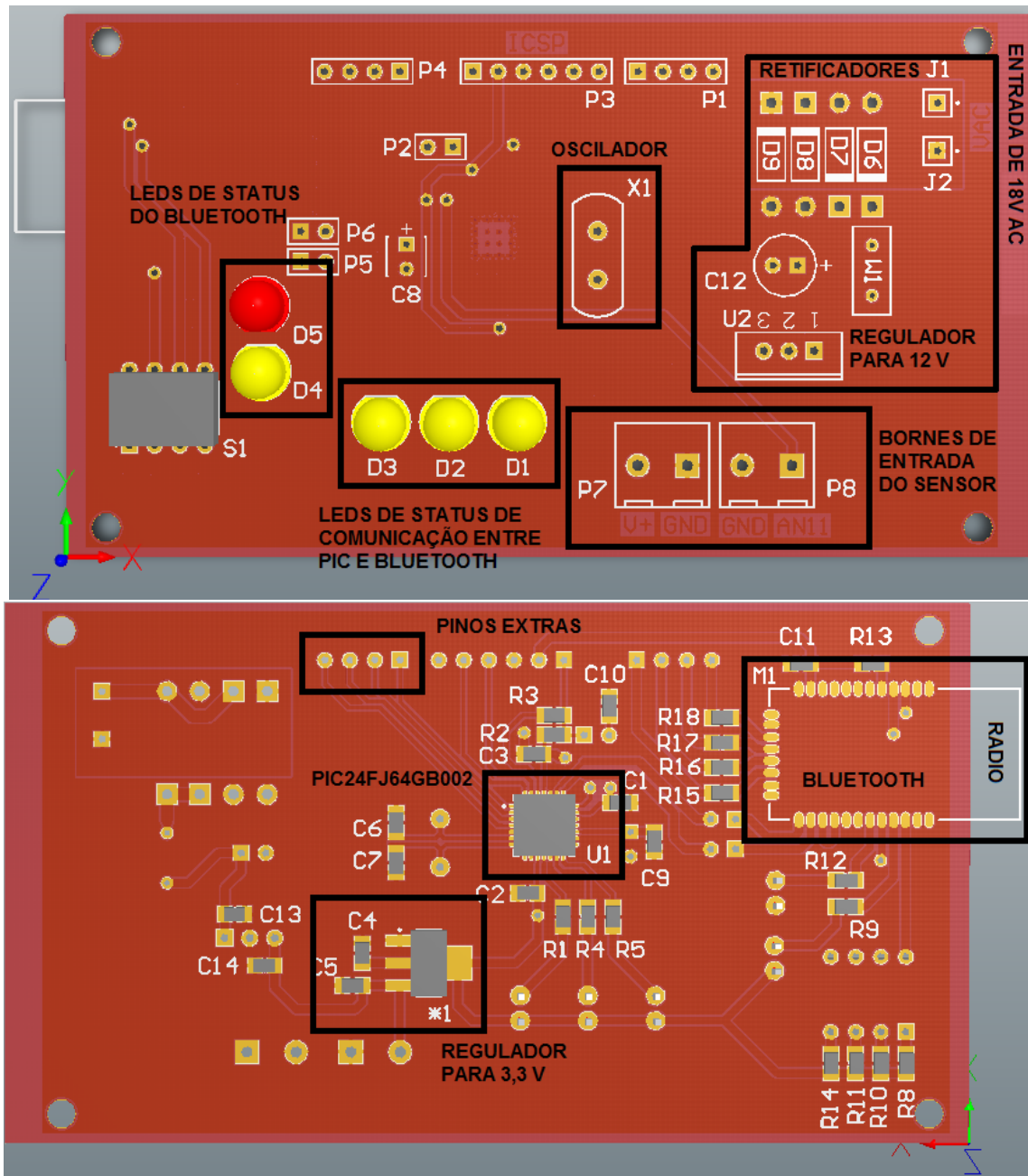


Figura 38: Frente e verso do *hardware* final do módulo 1 com ênfase nos seus periféricos.

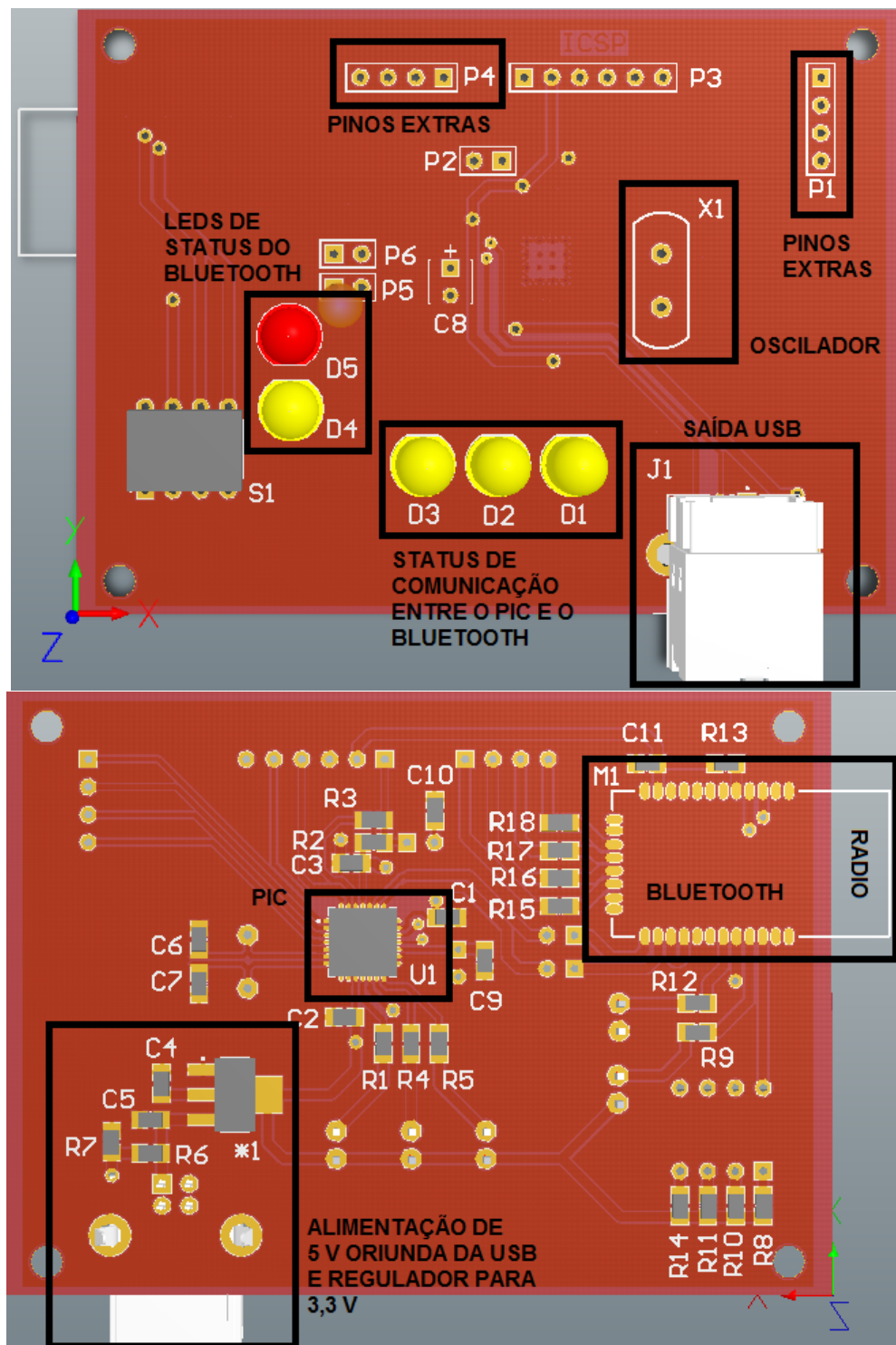


Figura 39: Frente e verso do *hardware* final do módulo 2 com ênfase nos seus periféricos.

4 *Resultados*

4.1 Testes com o Protótipo

Nesta seção, serão abordados os resultados obtidos com o desenvolvimento deste protótipo.

4.1.1 Testes com o Protótipo da Fonte de Alimentação

Com este protótipo obtiveram-se alimentações de 3,3 V, de 5 V e de 12 V. Contudo, só utilizou-se as alimentações de 3,3 V e 12 V, devido às necessidades do sistema, pois, para o PIC, precisava-se de uma alimentação entre 2,0 e 3,6 V, para o Bluetooth uma alimentação na faixa de 3,0 a 3,6 V e, para o sensor de IUV uma alimentação entre 7 e 24 V. É possível ver, na Figura 40 o resultado obtido para a alimentação de 12 V. Para a alimentação de 5 V obteve-se o resultado conforme a Figura 41 e para a alimentação de 3,3 V o resultado pode ser visto na Figura 42. Os resultados vistos nas figuras abaixo podem ser vistos, também, na Tabela 8.

Nota-se com estes testes que os resultados foram dentro da faixa estabelecida para o projeto.

4.1.2 Testes com o Protótipo do Bluetooth

Após a implementação do *software* era preciso verificar a comunicação entre os módulos Bluetooth (BT). Para isso, utilizou-se o osciloscópio, pois, todo dado que um BT

Tabela 8: Resultados obtidos para cada valor de tensão do protótipo projetado.

Protótipo	Valor de Pico [V]	Valor Médio [V]
Alimentação de 12 V	11,76	11,68
Alimentação de 5 V	4,88	4,88
Alimentação de 3,3 V	3,18	3,18

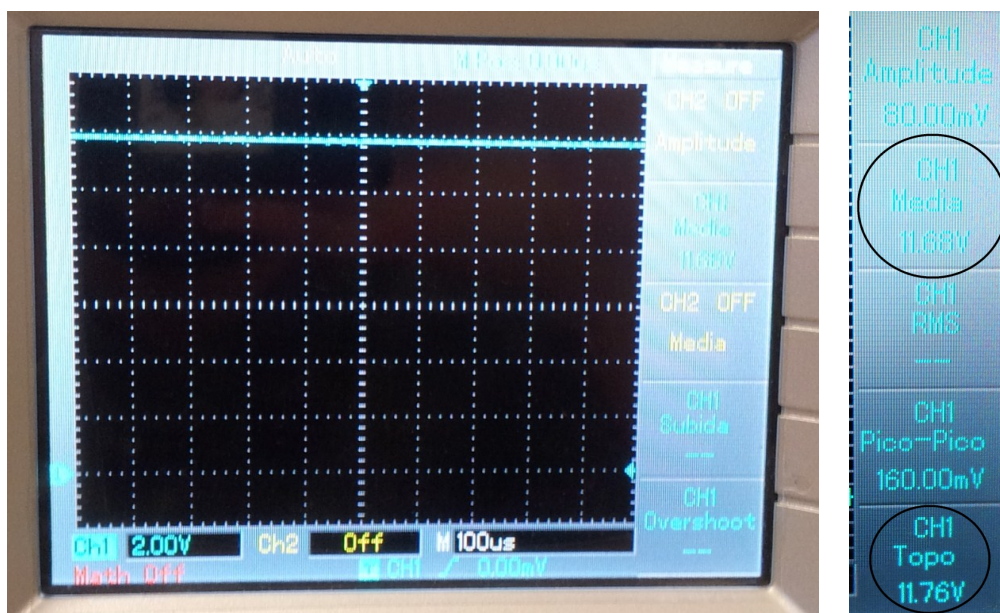


Figura 40: Tensão de 12 V no protótipo da fonte de alimentação.

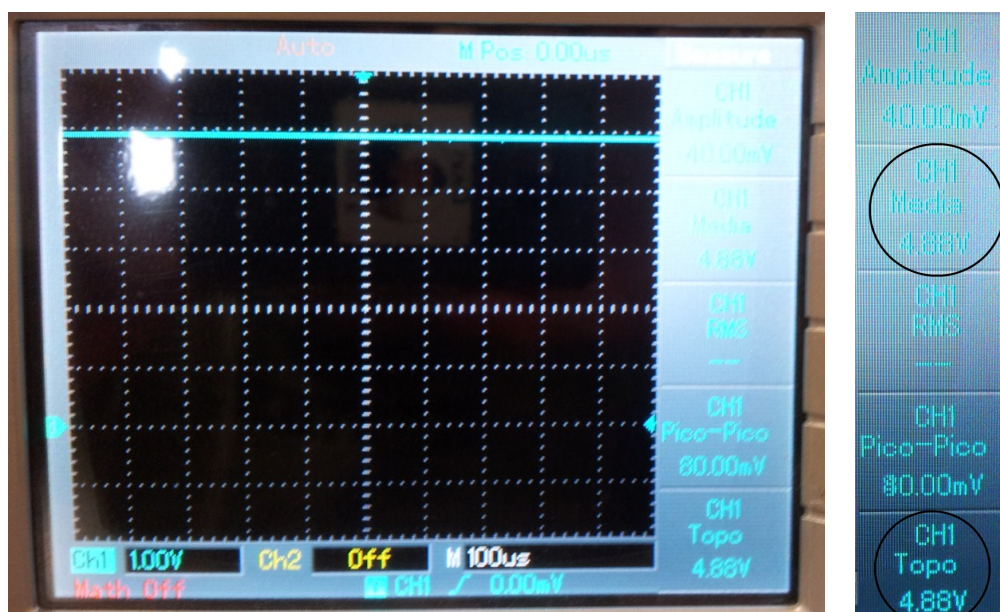


Figura 41: Tensão de 5 V no protótipo da fonte de alimentação.

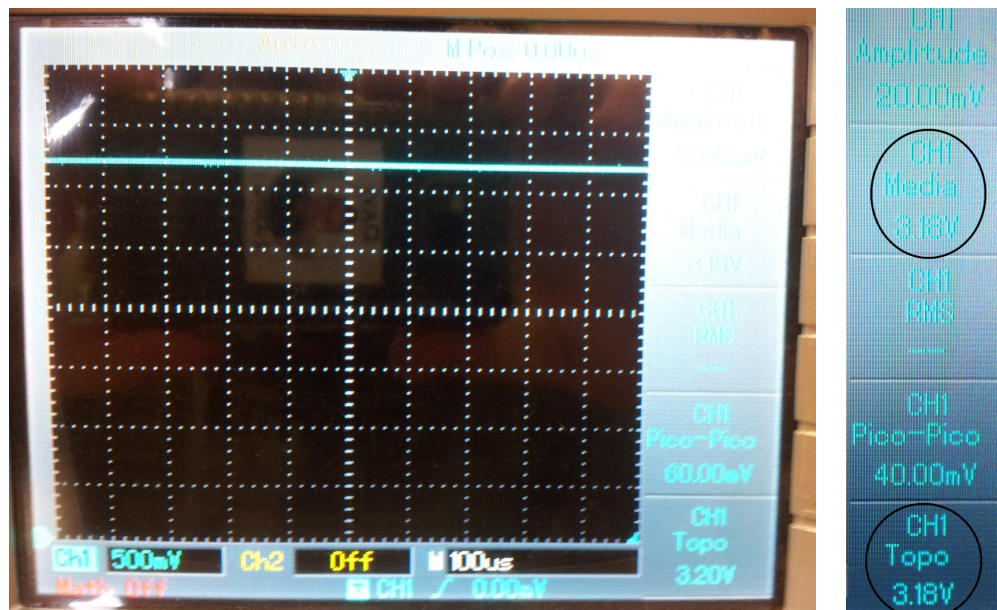


Figura 42: Tensão de 3,3 V no protótipo da fonte de alimentação.

recebe no pino de RX ele envia para o dispositivo ao qual ele está conectado, e que este transmite tal dado pelo pino de TX. Na Figura 43 é possível ver em amarelo o rádio do módulo 1 enviando o dado via serial RS-232 em nível CMOS e, após, 47,2 milissegundos o rádio do módulo 2, em azul, repetindo o dado pela serial. Na serial do módulo 2 observa-se duas bordas, em que a primeira é chamada de Packet Detect Signal (PKDET), que é uma borda de descida para aviso de recebimento. Já o segundo dado é a informação oriunda do módulo 1.

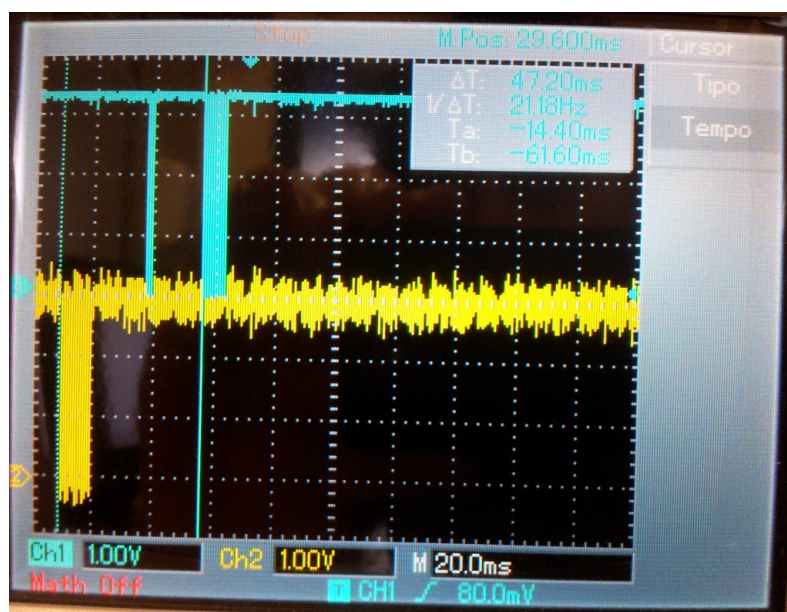


Figura 43: Comunicação entre os rádios Bluetooth.

4.1.3 Testes com o Protótipo Final

Após estabelecer-se a comunicação dos rádios Bluetooth, verificou-se a comunicação USB entre o PIC e o computador, isto é, tudo que o PIC receber no seu RX, por meio do TX do BT, deveria ser enviado via USB. Na Figura 44, vê-se os dados recebidos no *software* TeraTerm, no qual o valor com três casas decimais é IUV calculado, seguidos do IUV inteiro e do valor do ADC.

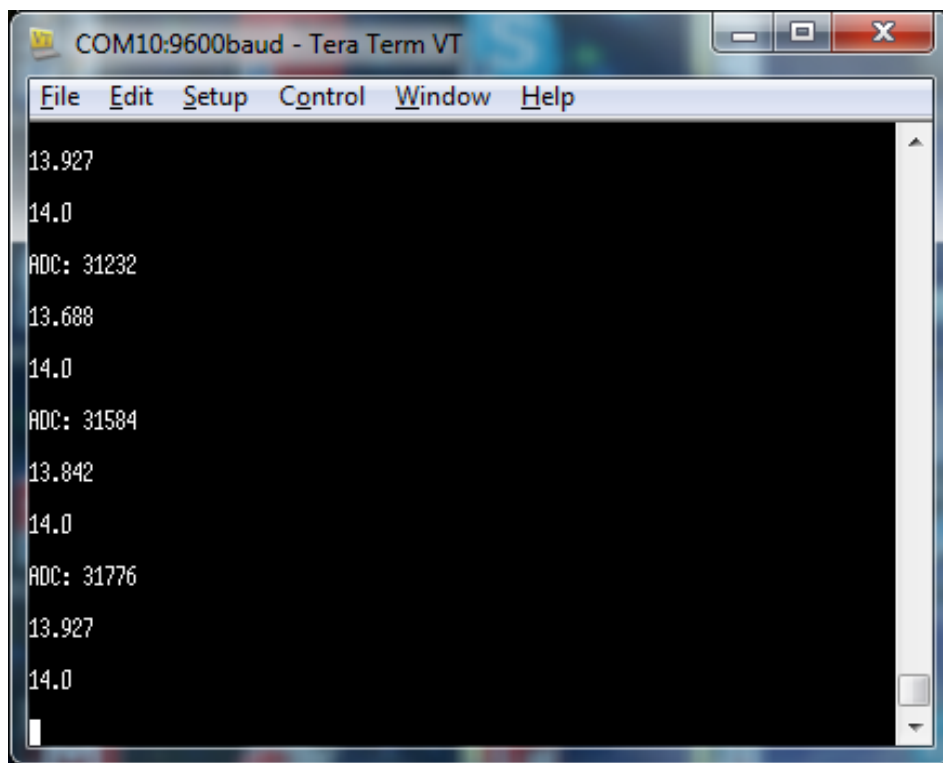


Figura 44: Comunicação USB entre o PIC e o PC.

Testou-se, também, o que aconteceria se a comunicação entre os BT's cessasse. Para isso foi implementado um código no BT, de maneira que ele enviasse um dado quando a comunicação fosse estabelecida. É possível ver, na Figura 45 o dado enviado pelo Bluetooth quando a conexão é estabelecida. Após a conexão, os dados de IUV e de ADC são enviados pela USB.

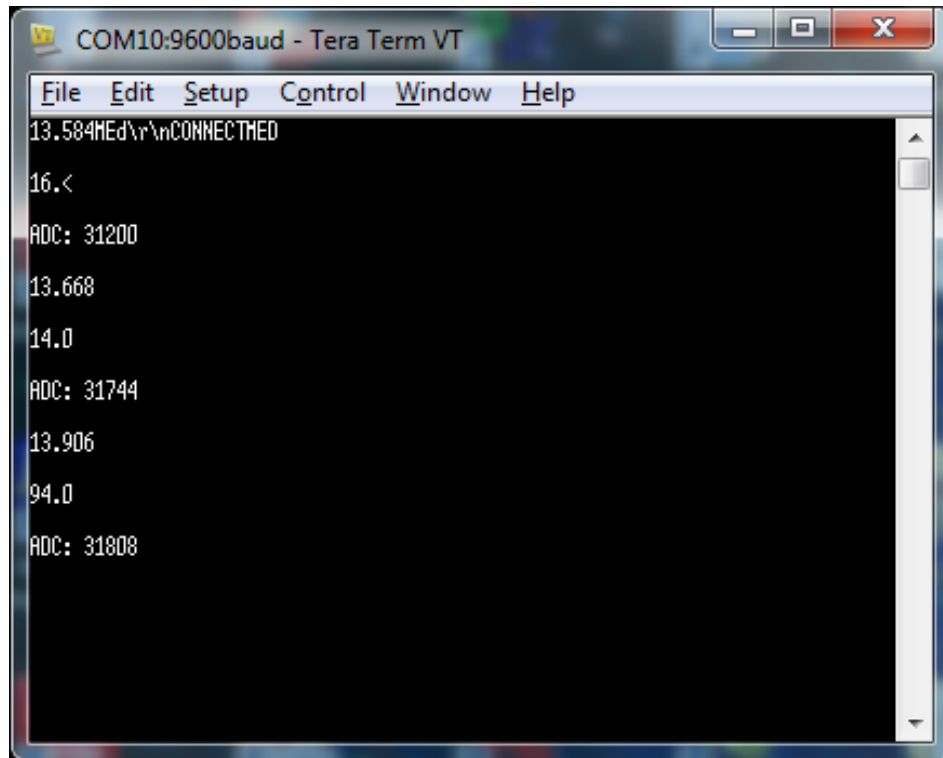


Figura 45: Conexão entre os módulos Bluetooth.

4.2 Comparações com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Desejava-se com este protótipo, obter medidas de índice UV na cidade de São Carlos-SP. Para isso, iniciou-se medidas diárias a partir do dia 15/10/2012 no horário de 15:00:00 GMT e a compará-los com o IUV médio atenuado (com nuvens) do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do INPE. Na Tabela 9 estão as medidas realizadas utilizando o sensor *UV-Cosine* da marca SGLUX. Na Figura 46, observa-se o gráfico comparativo das medidas realizadas no Laboratório e dos dados obtidos no sítio do CPTEC. Já, na Figura 47 e na Figura 48, vê-se as classificações das medidas de IUV, segundo a Organização Mundial da Saúde (WHO), realizado com o sensor UV-Cosine e com os valores obtidos no sítio do CPTEC, respectivamente [2][3][4]. No apêndice G, vê-se as imagens de satélite obtidas no sítio do INPE.

Tabela 9: Medidas realizadas com o sensor de índice UV. Medidas foram comparadas com o INPE e com os dados do CPTEC para a cidade de São Carlos-SP

Dia/Mês/Ano	Hora	Medida em Tensão [V]	IUV Calc.	IUV Inteiro	Categoria	IUV atenuado INPE 15:00 GMT	IUV Max CPTEC Sem nuvens Previsão	Condições Atuais c/ Nuvem CPTEC 12:00	Observações
15/10/2012	12:01	0,975	8,4782	8	MUITO ALTO	11	12	13	Dia de sol s/ nuvens. Choveu de manhã. Sol e nuvens.
17/10/2012	12:05	0,979	8,5130	9	MUITO ALTO	8	12	9	
18/10/2012	11:58	0,970	8,4347	8	MUITO ALTO	10	13	9	
19/10/2012	11:59	0,547	4,7565	5	MODERADO	11	13	11	
20/10/2012	12:07	1,050	9,1304	9	MUITO ALTO	12	13	13	Dia de sol c/ poucas nuvens. Horário de verão. Morneio.
21/10/2012	13:12	0,685	5,9565	6	ALTO	12	13	12	
22/10/2012	13:52	0,942	8,1913	8	MUITO ALTO	12	13	13	Dia de sol c/ poucas nuvens. Choveu de manhã. Sol e nuvens.
23/10/2012	13:32	0,785	6,8260	7	ALTO	10	13	12	
31/10/2012	13:20	0,897	7,8000	8	MUITO ALTO	S/ medida	S/ medida	S/ medida	Dia de sol c/ poucas nuvens.

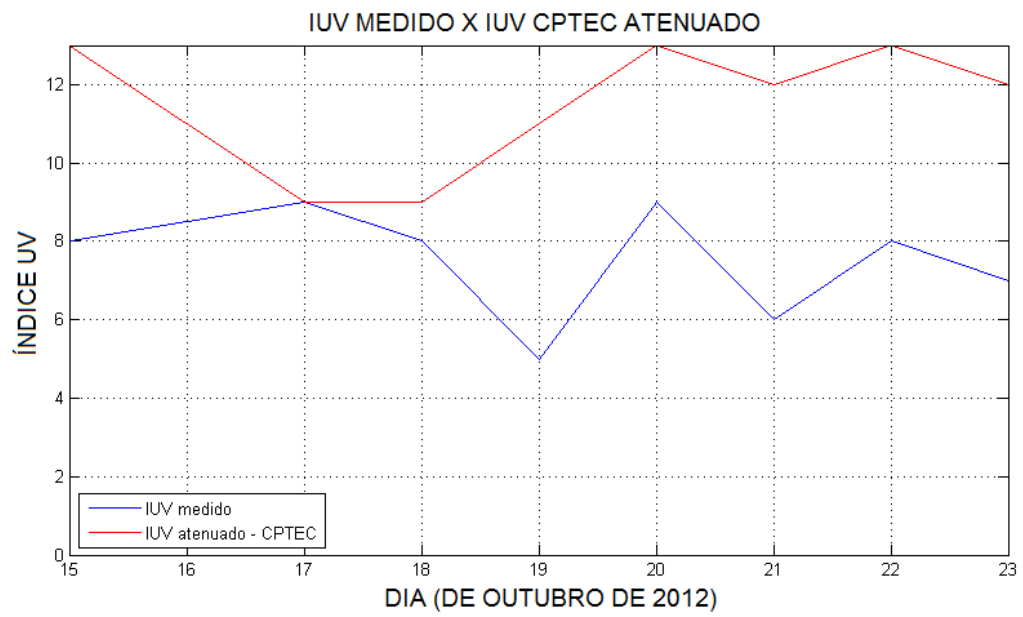


Figura 46: Comparação das medidas feitas com o CPTEC.

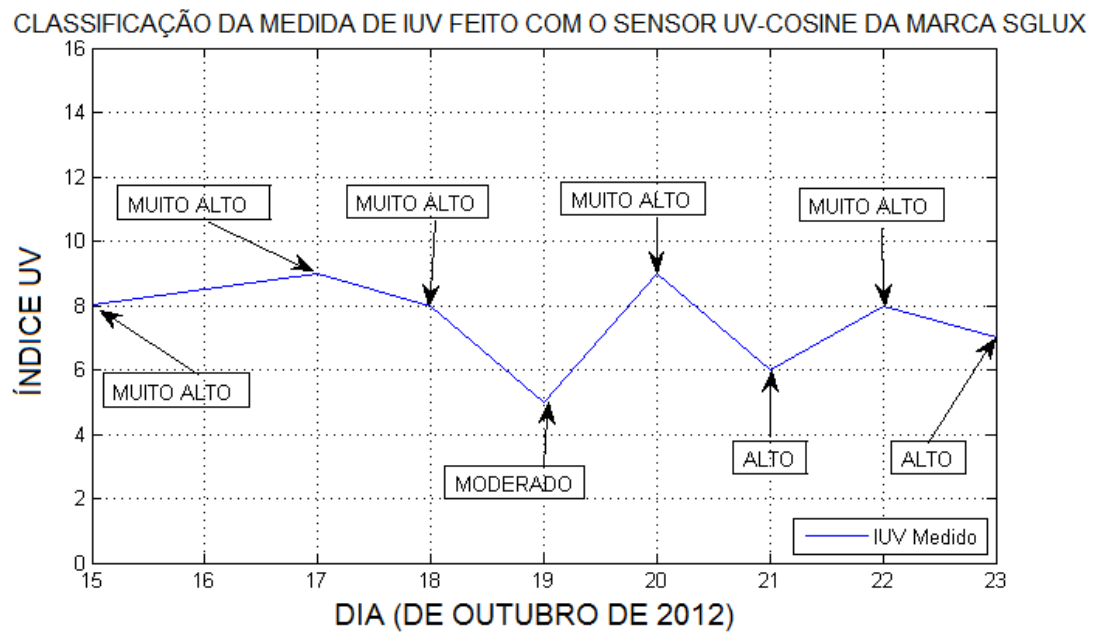


Figura 47: Classificação das medidas.

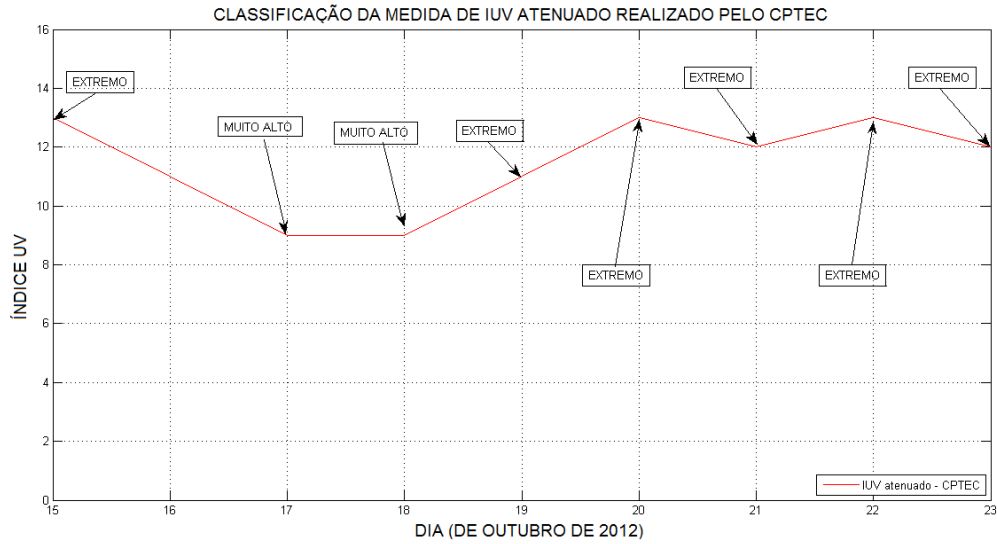


Figura 48: Classificação das medidas obtidas no sítio do CPTEC.

4.3 Discussão dos Resultados

Conforme os testes mostram, o protótipo realiza as tarefas impostas no início deste trabalho. A realização deste projeto mostrou-se extremamente desafiadora e, também, útil para se entender amplamente sobre radiação ultravioleta, seus efeitos no ser humano, e, principalmente, sobre as medidas de índice UV.

Antes do início do projeto deste protótipo, a coordenadora do LIO havia adquirido um medidor de índice ultravioleta da SGLUX, próprio para comparação científica deste projeto. Porém, ao testarmos o sistema, verificou-se que nos foi enviado descalibrado pela empresa Alemã SGLUX e até o momento a coordenadora está em negociação para que solucionem o problema e honrem a venda efetuada para a Universidade de São Paulo. Assim, a única referência de comparação para este trabalho é o sítio do INPE.

Os autores Karel Vanicek *et al.*, utilizam uma fórmula para determinar o índice UV, assim como os satélites o fazem, i.e., o IUV atenuado, que é dado pela Equação 4.1 [3]

$$IUV = IUV_O \times FMN \times (1 + 0,008 \times \Delta H) \quad (4.1)$$

em que, IUV_O é o índice UV sem nuvens, FMN é o fator de modificação das nuvens que varia de 0 a 1 para diferentes tipos de nuvens, i.e., quanto mais nuvens, menor esta constante, e, ΔH é a diferença de altitude em quilômetros (km) de onde o IUV_O se refere[3].

Sabendo que os satélites se baseiam em algoritmos como a Equação 4.1, é interessante notar a diferença entre as medidas obtidas com este projeto, e as medidas divulgadas pela CPTEC. Enquanto que, a classificação obtida para a maioria das medidas realizadas com o sensor *UV-Cosine* não passaram de MUITO ALTO, quase todas as medidas do sítio do CPTEC foram classificadas como EXTREMO.

As observações da Tabela 9 são essenciais para explicar os resultados obtidos. Em algumas medidas, nuvens sobre o sensor diminuíam muito o IUV, como, por exemplo, a medida feita no dia 19/10/2012 às 11:59 h, na qual obteve-se uma medida de índice UV de 5, enquanto que a CPTEC obteve um IUV de 11. Contudo, tal nuvem estava passando na região que estava o sensor, anulando, assim, a medida. Caso houvessem outros sensores em outras regiões da cidade de São Carlos-SP, aquela poderia ser anulada, considerando apenas as medidas dos outros sensores.

Tanto as medidas obtidas pelo sensor de IUV deste projeto, quanto as medidas do sítio da CPTEC, nos fornecem um dado alarmante quanto ao índice UV na cidade. Para valores de IUV medidos no horário de 15:00:00 GMT, cinco foram classificados como MUITO ALTO, dois como ALTO e um MODERADO. Para tais valores, a Organização Mundial da Saúde recomenda proteção extra, *e.g.*, evitar ficar exposto ao Sol nos horários próximos ao meio-dia, procurar sombras, usar camisas que protegem o braço, óculos de Sol e protetor solar [4].

4.4 Conclusão

A construção deste sistema é fundamental para a equipe do Laboratório de Instrumentação Oftálmica - LIO/SEL/EESC/USP - ter conhecimento mais aprofundado sobre índices de ultravioleta, uma vez que a coordenadora do grupo é uma das responsáveis por revisar a norma brasileira para óculos de sol atual, NBR15111 (2004).

Os resultados obtidos, por meio do desenvolvimento de um dispositivo eletrônico que permitisse realizar medições de índice ultravioleta na superfície terrestre e dos testes realizados, mostraram que o projeto, ainda em bancada, viabiliza a construção do protótipo para ser fixado no alto de um dos prédios da área 1 do campus da USP de São Carlos.

4.5 Trabalhos Futuros

Deseja-se, futuramente, produzir um sistema finalizado com placas de circuito impresso profissionais em fibra de vidro, com máscara de solda, utilizando somente com-

ponentes SMD, como as placas finais projetadas. No entanto, para se ter um sistema mais robusto, seria interessante a utilização de rádios transmissores mais potentes, como, por exemplo, o XBee-Pro da marca MaxStream, que em ambientes externos alcança 1600 metros.

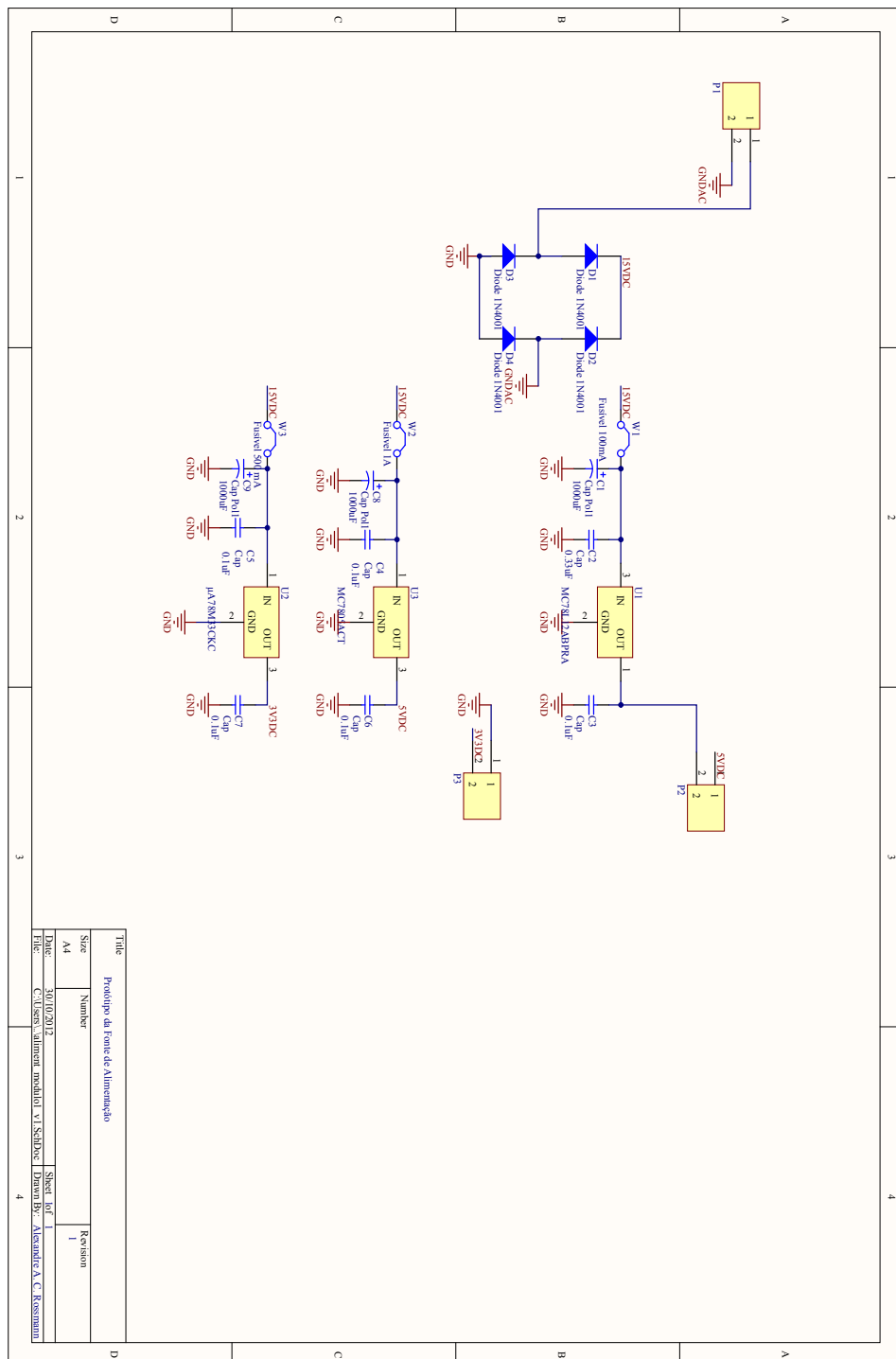
Em relação à análise das figuras obtidas pelo satélite, não foi implementado nenhum tipo de algoritmo para se obter o índice UV médio na cidade de São Carlos-SP. Seria interessante fazer uma análise por visão computacional destas figuras para a região de São Carlos-SP para a obtenção de tal valor, não ficando, assim, somente com conclusões visuais. Tais figuras podem ser vistas no Apêndice G.

Outro ponto importante, que é um objetivo do Laboratório de Instrumentação Oftálmica - LIO - é a introdução deste equipamento no Totem UV, já desenvolvido em outros trabalhos, criando uma plataforma interativa para o público leigo ter acesso aos dados dessa pesquisa.

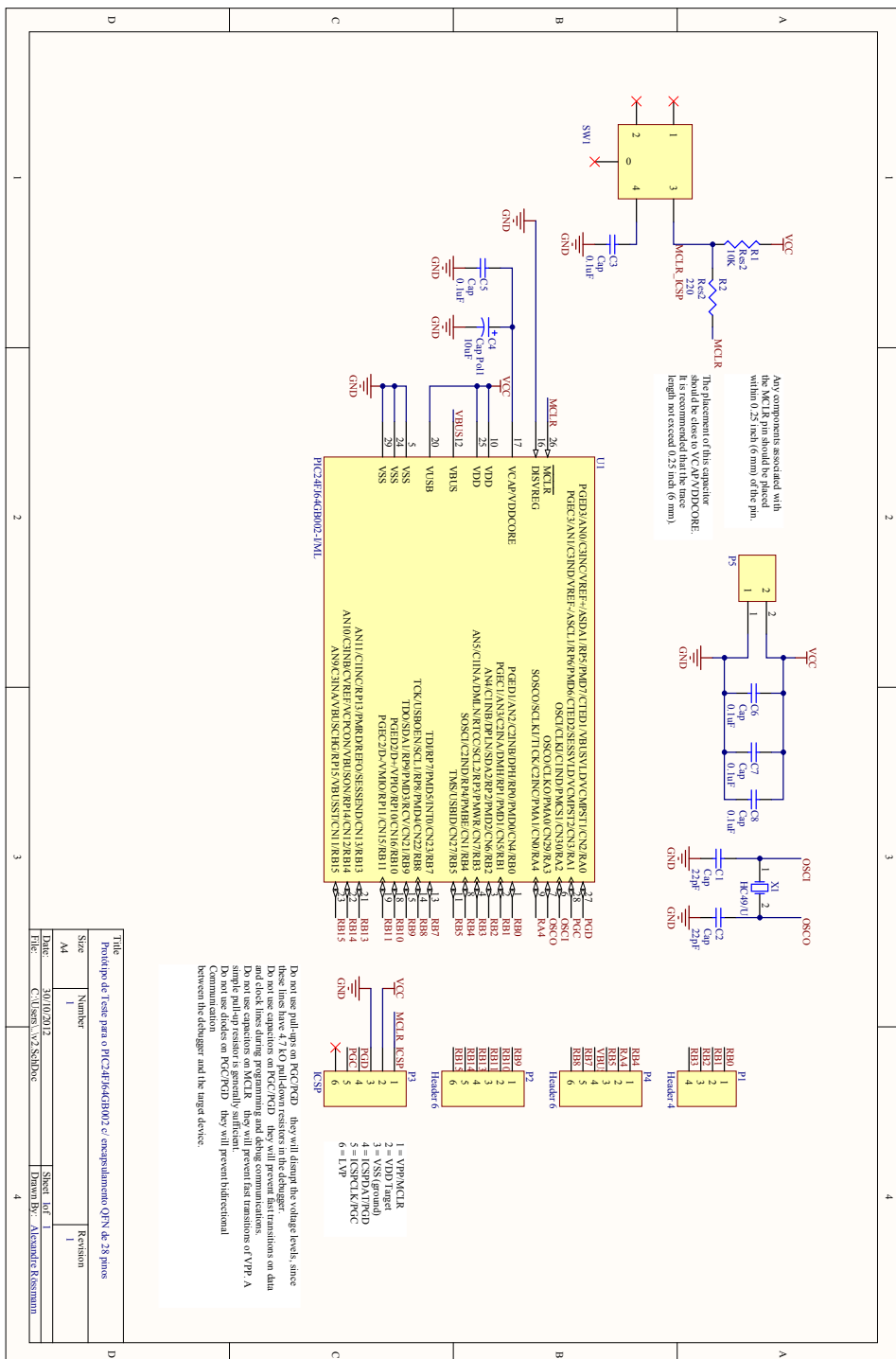
Referências

- [1] WHARTON, D. A., *Life at the Limits: Organisms in extreme environments*. Cambridge University Press, 2002.
- [2] SILVA, F. R., *Estudo da Radiação Ultravioleta na Cidade de Natal-RN*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2008.
- [3] VANICEK, K. *et al.*, *UV-Index for the Public. Brussels: COST-713*, 1999. 26p.
- [4] WORLD HEALTH ORGANIZATION, *Global Solar UV-Index: A Pratical Guide. Geneva: WHO/UNEP/ICNIRP*, 32p, 2002. (WHO/SO2/OEH/02.2)
- [5] INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION, *ICNIRP Guidelines: On limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelength between 100 nm and 400 nm (incoherent optical radiation)*. Published in: *Health Physics* 87(2), p.171-186, 2004.
- [6] DIFFEY, B.L., *Solar ultraviolet radiation effects on biological systems. Physics in Medicine and Biology*, v36, n.3, p.299-328, 1991.
- [7] BELMONTE, J. G., *et al.*, *Wireless sensor network development for measuring ultraviolet radiation on human health application. U. N. R. Journal*, Year 2, Volume 2, Jun. 2010. p.613-621.
- [8] McKINLAY, A. F.; DIFFEY, B. L., *A reference action spectrum for ultraviolet-induced erythema in human skin. CIE Journal*, 6-1, p.17-22, 1987.
- [9] LIN, Y. *et al.*, *Application of Sun Protection Factor and Ultra Violet in Alarming Hat. The 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON)*, Taipei, Taiwan, Nov. 5-8,2007.
- [10] JOKELA, K.; HUURTO, L.; VISURI, R., *Optical Test Results for Sunburn UV-Meter Solar Light Model 500*. Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety, Helsinki, Finland, CH2971-0/91/0000-0951\$01.00, 1991.

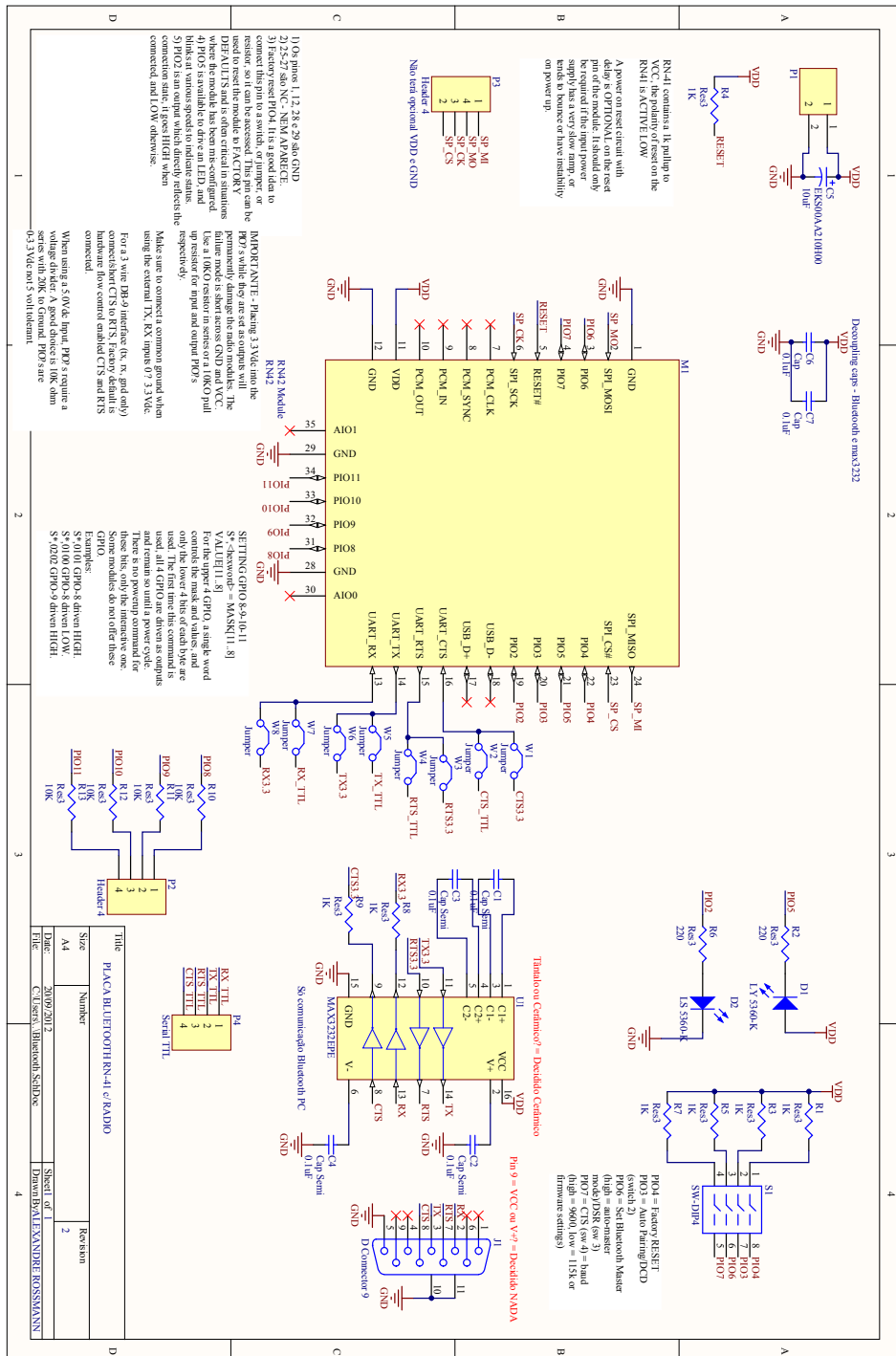
- [11] KIEDRON, P. *et al.*, *Instantaneous UV Index and Daily UV Dose Calculations*. Retirado de: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/neubrew/docs/UVindex.pdf>, 5p., 2007.
- [12] GRAEME, J. G. *et al.*, *Photodiode Amplifier. Op Amp Solutions*. New York: McGraw-Hill, 1996.
- [13] FIOLETOV, V. E. *et al.*, *UV index climatology over the United States and Canada from ground-based and satellite estimates*. *J. Geophys. Res.*, 109, D22308, doi:10.1029/2004JD004820, 2004.
- [14] RUBIN, M. B., *The History of Ozone. The Schönbein Period, 1839-1868*. Technion-Israel Institute of Technology, Bull. Hist. Chem., v.26, n.1, 2001.
- [15] MOLINA, M. J.; ROWLAND F. S., *Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalyzed destruction of ozone*. *Nature*, 1974.
- [16] NEWMAN, P. A., *Facts: What is a Dobson Unit?*. Retirado de: <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/dobson.html>, 2008.
- [17] FOX, M., *Quantum Optics. An Introduction*. Oxford University Press, 2006.
- [18] KIRCHHOFF, V. W. J. H., *A Variação Sazonal da Radiação Ultravioleta Solar Biologicamente Ativa*. *Brazilian Journal of Geophysics*, Vol. 18(1), 2000.
- [19] KIRCHHOFF, V. W. J. H., *Introdução à Geofísica Espacial*. São Paulo: Nova Stella, Editora da Universidade de São Paulo: FAPESP, 1991.
- [20] KIRCHHOFF, V. W. J. H., *Ozônio e Radiação UV-B*. Transtec Editorial, São José dos Campos, 149p., 1995.



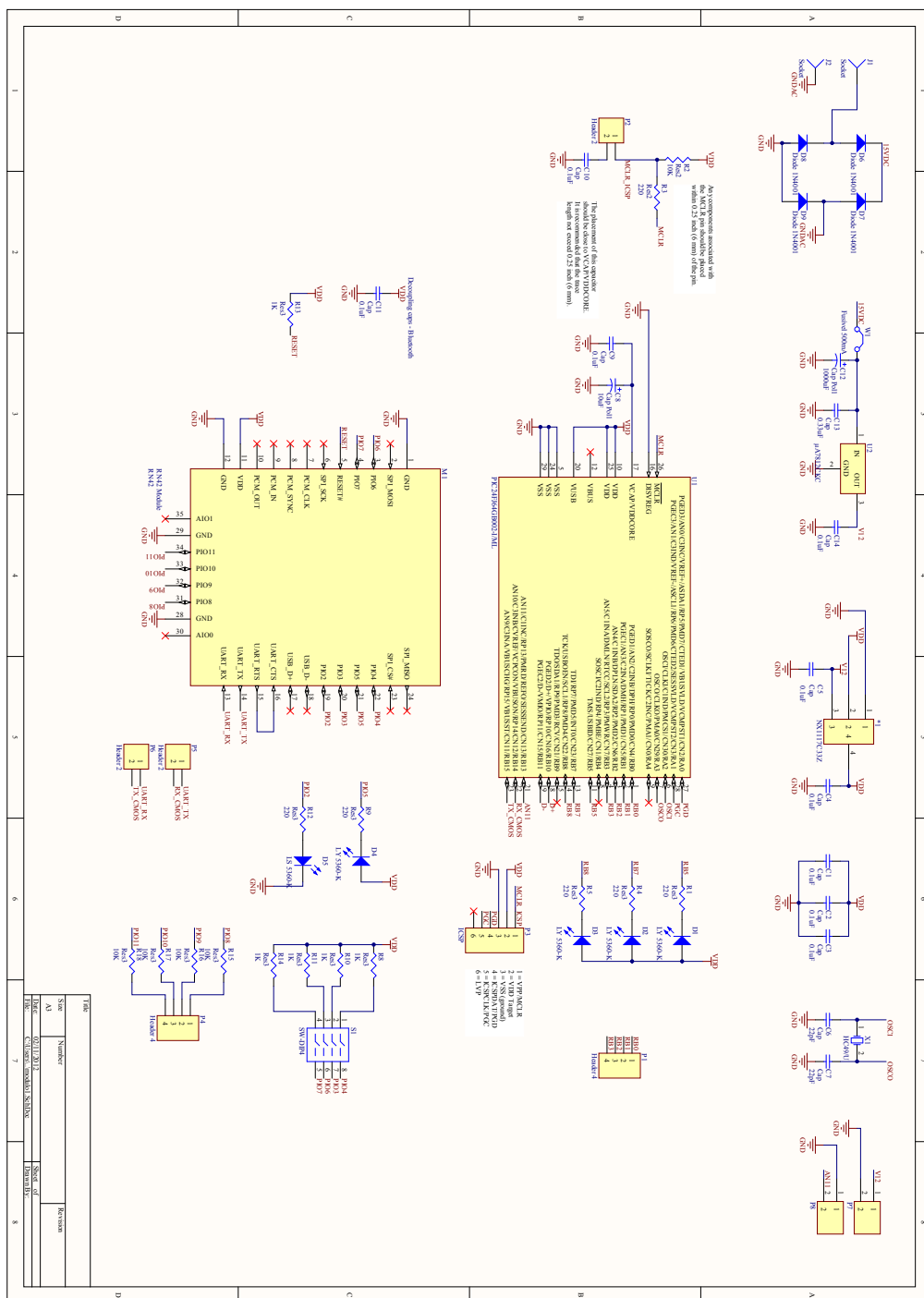
Apêndice B - Esquemático do protótipo de teste do PIC24FJ64GB002



Apêndice C - Esquemático do protótipo de teste do Bluetooth



Apêndice D - Esquemático da placa final do módulo 1



Apêndice F - Código fonte do protótipo final

```

/*-----Bibliotecas-----*/

#include <24FJ64GB002.h>
#include <string.h>
#include <math.h>
#include <usb_cdc.h>
#include <stdio.h>

/*-----Configurações do uC-----*/
#define ICD=TRUE
#define PASS_STRINGS = IN_RAM

#define FUSES NOWDT //No Watch Dog Timer
#define FUSES NOJTAG //JTAG disabled
#define FUSES NOPROTECT //Code not protected from reading
#define FUSES NOWRT //Program memory not write protected
#define FUSES NODEBUG //No Debug mode for ICD
#define FUSES ICSP3 //ICD uses PGC3/PGD3 pins
#define FUSES NOWINDIS //Watch Dog Timer in Window mode
#define FUSES WPOSTS16 //Watch Dog Timer PostScalar 1:32768
#define FUSES NOOSCO //OSC2 is clock output
#define FUSES PR //Primary Oscillator
#define FUSES PR_PLL //Primary Oscillator with PLL
#define FUSES PLL96MHZ
#define FUSES PLLDIV5
#define FUSES HS //High speed Osc (> 4mhz for PCM/PCH) (>10mhz for PCD)
#define FUSES NOIOL1WAY //Allows multiple reconfigurations of peripheral pins
#define FUSES NOWPCFG
#define FUSES NOWPDIS

#define delay(clock=32M)

/*-----Declarações-----*/

#define LED1 PIN_B5 // Define mnemônicos para os pinos RB5,RB7 e RB8.
#define LED2 PIN_B7
#define LED3 PIN_B8

unsigned int32 value1 = 0; // Variáveis globais.
float32 value = 0;

/*-----Funções-----*/

void pisca_led1(void){ // Função que pisca o LED azul indicando
    output_low(LED1); // o início e o fim da comunicação USB.
    delay_ms(500);
    output_high(LED1);
    delay_ms(500);
}

void pisca_led2(void){ // Função que pisca o LED branco indicando

```

```

    output_low(LED2);    // o início comunicação serial
    delay_ms(500);       // RS-232 entre o PIC24F e o Bluetooth.
    output_high(LED2);
    delay_ms(500);
}

void pisca_led3(void){    // Função que pisca LED vermelho indicando
    output_low(LED3);     // o fim da comunicação serial RS-232
    delay_ms(500);        // entre o PIC24F e o Bluetooth.
    output_high(LED3);
    delay_ms(500);
}

void iuv_inteiro(void){    // Função que pega o valor inteiro do índice UV
    float frac;           // Declaração de variável local
    frac = value - floor(value); // Pega o valor fracionário calculado
    if(frac>=0.5)          // Se o valor fracionário for maior ou igual a meio
        value = (int) floor(value) + 1; // escolhe o IUV superior
    else                   // senão
        value = (int) floor(value);    // escolhe o IUV inferior.
}

#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_B15,rcv=PIN_B14,bits=8,stream=batata)
    // TxD está no pino
    // B15 e RxD está no
    // pino B14

#include <input.c>        // Biblioteca importante que foi alterada para o
    // funcionamento correto do sistema.

/*-----+-----*/
/*-----+Programa Principal+-----*/
/*-----+-----*/

void main(){

/*-----Declarações-----*/

    unsigned int32 i,min,max;
    float32 indice1;
    char recebe[60]="";

    output_high(LED1);    // Apaga os LED's.
    output_high(LED2);
    output_high(LED3);

/*-----"Setando" Comunicação USB-----*/

    usb_cdc_init();       // Start CDC.
    usb_init();           // Start USB.

/*-----"Setando" Conversor A/D-----*/

    setup_adc_ports(sAN11); // AN11 está na porta B13.
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL | ADC_TAD_MUL_8); // Clock Externo e Tempo de
    set_adc_channel(11);    // aquisição de 1.6 microse-

```

```

        // gundos. Resolução real de 11 bits
        // e resolução virtual de 65472 níveis.

/*-----Cálculo do IUV fracionário e inteiro-----*/

pisca_led2();          // Início da comunicação serial RS-232.
printf("Amostra: \n\r"); // Printf é uma função inclusa na
                        // biblioteca do RS-232.

do{
    // Rotina que estabelece a conexão en-
    // tre os dois bluetooth's. O bluetooth
    // envia o caracter MED quando se
    // estabelece a conexão.

    get_string(recebe, sizeof(recebe)); // Pega string "MED\r" enviado pelo BT.
    // gets, fgets, getc, fgetc não funciona.
    // get_string é a correta. A função
    // get_string foi alterada na biblio-
    // teca <input.c>.
    usb_task();          // Testa USB

    if (usb_enumerated()) { // Escreve no terminal.
        printf(usb_cdc_putc, "\r\n%s",recebe);
        delay_ms(250);      // Delay embutido.
    }
    if(strcmp(recebe,"D\r")){ // Compara o que está no Buffer recebe
        pisca_led1(); // com a string "D\r" para saber se ele
        // já escreveu "MED\r", ie, se já houve
        // a conexão.
        break; // Sai do LOOP se sim.
    }
}while(TRUE);

    // Espera para estabilizar
    // a conexão entre os dois BT. Sem
    // essa rotina, não funciona o siste-
    // ma.

do {
    // Faz essa rotina infinitamente
    min=65472;
    max=0;
    for(i=0; i<=20; ++i) { // Pega 20 amostras e os seus
        // máximos e mínimos.
        delay_ms(10); // Função de delay embutida.
        value = read_adc(); // Função para ler CAD embutida,

        if(value<min) // Rotina que pega os maiores
            min=value; // e os menores valores para,
        if(value>max) // posteriormente, calcular a
            max=value; // média.
    }

    indice1 = 2281.6; // Sensor trabalha na faixa de
    // 115 mV/IUV e o PIC24 neste caso
    // com Vref+ = 3.3V e Vref-=0.
    // (Vref+ - Vref-)/Resolução =

```

```

        // = 3.3V/65472 = 50,40322580e-6 V.
        // IUV_1 = 115mV/50,40322580e-6 V
        // IUV_1 = 2281,6, isto é, para cada
        // IUV inteiro, se terá um passo de
        // 2281,6, fornecendo, assim, um
        // IUV máximo de 28,7, aproximadamente.

value1 = (int32) (max+min);    // Cálculo foi dividido em três partes
value1 = (int32) value1/2;    // para não sobrecarregar o micro. É
value = (float32) value1/indice1; // feita a média aritmética e esse
        // valor é dividido por seu IUV_1.

usb_task();                  // Testa USB

if (usb_enumerated()) {     // Rotina de impressão da média do
    pisca_led1();           // valor do ADC no terminal via USB.
    printf(usb_cdc_putc, "ADC: %Lu \r\n\r\n", value1);
    delay_ms(250);
}

printf("%2.3f\r\n", value); // Envia via serial o IUV calculado.

//Não pode ter delay, se não perde o dado
get_string(recebe, sizeof(recebe)); // Pega string recebida no RxD.

if (usb_enumerated()) {     // Rotina de impressão do dado no
    pisca_led1();           // terminal via USB.
    printf(usb_cdc_putc, "%s \r\n\r\n", recebe);
    delay_ms(250);
}

iuv_inteiro();              // Chama função que calcula o IUV inteiro.

printf("%2.1f\r\n", value); // Envia via serial o IUV inteiro.
//Não pode ter delay, se não perde o dado

get_string(recebe, sizeof(recebe));

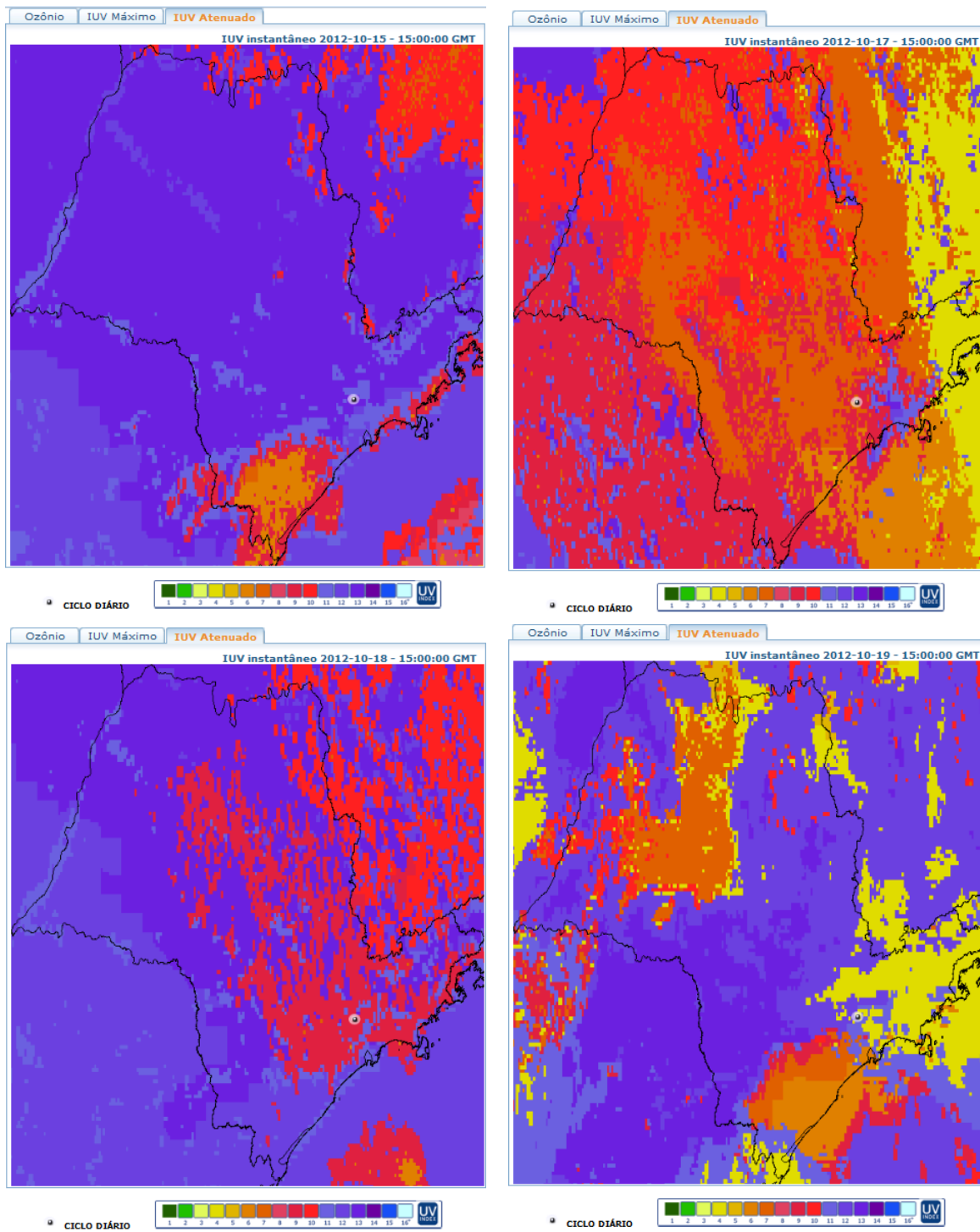
if (usb_enumerated()) {     // Rotina de impressão do dado no
    pisca_led1();           // terminal via USB.
    printf(usb_cdc_putc, "%s \r\n\r\n", recebe);
    delay_ms(250);
}

pisca_led3();               // Fim da comunicação serial RS-232 para
        // o Bluetooth e da comunicação USB.

} while (TRUE);
}

```

Apêndice G - Dados obtidos pelo site do INPE



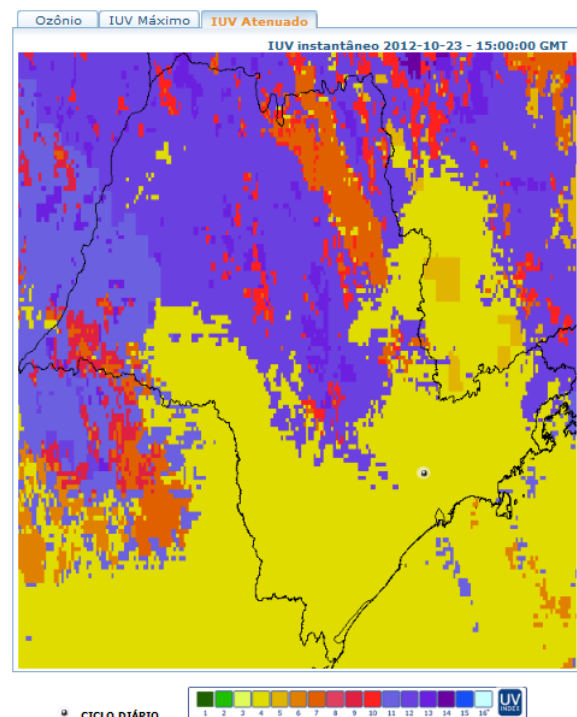
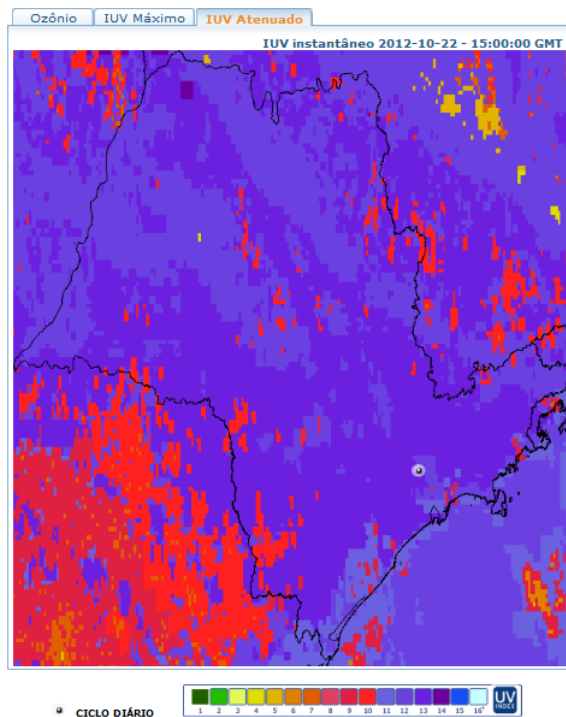
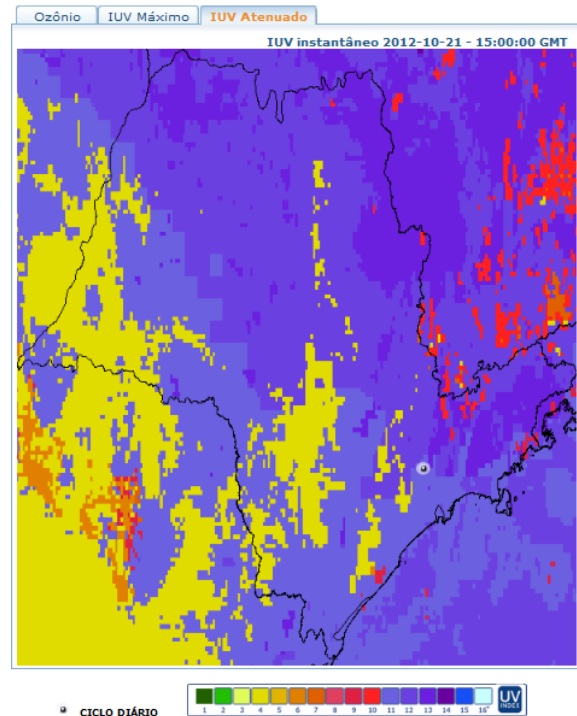
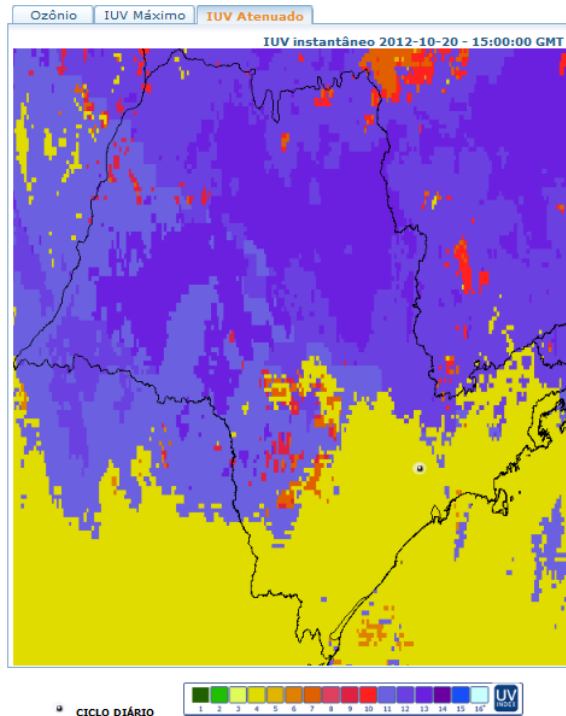




Figura 49: Dados obtidos pelo site do INPE.