

Módulo Didático com Tecnologia VLC

Wagner V. Longhi¹, Claiton P. Colvero¹

¹Colégio Técnico Industrial de Santa Maria – Universidade Federal de Santa Maria (CTISM - UFSM) – Av. Roraima, 1000 – 97.105-900 – Santa Maria – RS - Brasil

{wagner.longhi, claiton}@redes.ufsm.br

Abstract. *Due to the current saturation of the electromagnetic spectrum in the radiofrequency bands for wireless communication, it is necessary to use new frequencies for these services. This paper describes the study and implementation of a free space optical communications (FSOC) didactic module, which uses wavelengths of the visible spectrum to offer non-atmosphere-guided links known as VLC (Visible Light Communication). The developed module can be used for the learning environment to complement the didactic contents in the classroom, it is allowing easy visualization of the effects that are occurring in the propagation of the signals in an intuitive and simplified method.*

Resumo. *Devido a atual saturação do espectro eletromagnético nas faixas de radiofrequência para as comunicações sem fio, surge a necessidade de utilização de novas frequências para os mesmos serviços. Este artigo descreve o estudo e implementação de um módulo didático de comunicações ópticas no espaço livre (FSOC), que utiliza os comprimentos de onda do espectro visível para implementar enlaces não guiados pela atmosfera, conhecido como VLC (Visible Light Communication). O módulo desenvolvido pode ser utilizado no ambiente de ensino e aprendizado para complementar os conteúdos ministrados em sala de aula, permitindo a fácil visualização dos efeitos que estão ocorrendo durante a propagação dos sinais de forma intuitiva e simplificada.*

1. Introdução

O aumento na demanda e a grande competitividade do mercado na área de telecomunicações incentiva a busca por novas tecnologias e sistemas que possam suprir carências do setor, como o caso específico da falta de disponibilidade de frequências livres no espectro eletromagnético para as comunicações sem fio convencionais [Anatel, 2012]. Atualmente tem-se observado uma disputa intensa por faixas de frequências disponíveis para a implementação de novos produtos e serviços de telecomunicações. A partir destas observações, pesquisas e estudos tem se desenvolvido para oferecer modernas técnicas de comunicação de banda larga em uma faixa do espectro eletromagnético menos saturada, onde destacam-se as comunicações ópticas no espaço livre FSOC e VLC [Filho, 2015].

Para o desenvolvimento deste trabalho, inicialmente foi realizada uma pesquisa sobre as novas tecnologias de comunicações ópticas não guiadas por fibra, que permitiu projetar e implementar de um módulo didático de baixo custo para a utilização nas disciplinas de telecomunicações do curso de Redes de Computadores do CTISM (Colégio Técnico Industrial de Santa Maria). As pesquisas foram realizadas com base nas propostas de novas tecnologias e produções acadêmicas mais recentes, tendo em vista que estes sistemas ainda possuem baixa disponibilidade comercial, o que limita as fontes mais aplicadas de estudo.

Complementando o módulo VLC didático deste trabalho, também foi desenvolvido um aplicativo intuitivo com diferentes funcionalidades e experimentos direcionados para o aprendizado da tecnologia em laboratório. Para a verificação das funcionalidades e limitações do sistema foram realizados diferentes ensaios com condições controladas no laboratório de telecomunicações do CTISM, confrontando os resultados das medições com os efeitos observados visualmente, uma vez que foram utilizados comprimentos de onda da luz visível para o melhor entendimento dos alunos.

2. Protótipo

Nesta seção são demonstradas as tecnologias selecionadas para operação do protótipo inicial do módulo, os materiais e os métodos utilizados para o desenvolvimento do mesmo. O detalhamento das atividades e montagem dos dispositivos utilizados está descrito na ordem cronológica de desenvolvimento, de forma sucinta e objetiva para o melhor entendimento sobre os processos de execução.

2.1. Módulo Arduino UNO R3

A utilização desta plataforma de prototipagem de hardware foi motivada pelo baixo custo de aquisição da mesma sem comprometer a operação do sistema como um todo. Através da utilização do aplicativo Arduino IDE, foram realizados o desenvolvimento e a gravação dos códigos na linguagem de programação C em seu micro controlador [McRoberts, 2010]. Outra vantagem desta plataforma é a possibilidade de alimentação através da mesma entrada onde é realizada a comunicação com o computador, eliminando a necessidade de utilização de uma fonte de energia externa.

Nas duas interfaces Arduino utilizadas, uma para transmitir os sinais e a outra para receber, foi necessário desabilitar um recurso chamado *auto reset*, para que não ocorra uma reinicialização das placas sempre que realizada uma comunicação serial. Para desabilitar esse recurso, foi inserido um capacitor eletrolítico de 10 μ F entre os pinos GND e RES.

2.1.1. Módulo Transmissor

O Arduino utilizado como transmissor executa o tratamento dos caracteres enviados pela interface transmissora do aplicativo, via comunicação serial. Essa informação recebida é tratada e convertida para uma sequência binária para depois ser enviada através da modulação OOK-NRZ (*non-return-to-zero on-off-keying*) [Kartalopoulos, 2003]. A energia luminosa é gerada por um dispositivo LED (*Light Emitting Diode*) conectado na saída PWM (*Pulse Width Modulation*) do Arduino, de acordo com o bit enviado pelo sistema.

Quando energizado, o código gravado no micro controlador aguarda a recepção do tempo de transmissão por bit, o qual é digitado pelo usuário na interface transmissora. Para alterar o tempo de transmissão por bit, é necessário realizar uma reinicialização manual do Arduino e reexecutar o aplicativo, que define a interface de transmissão.

Um protocolo simplificado foi desenvolvido e inserido no código da interface para realizar a tradução, modulação e inserção de balizas de sinalização nas mensagens que são enviadas. Nesse protocolo, cada caractere é representado por uma sequência binária de seis dígitos. A sequência “101010” é utilizada para sinalizar o início da transmissão, onde o primeiro bit é o *start* bit e os outros cinco bits são utilizados para o receptor verificar se a mensagem a ser recebida é, de fato, a mesma enviada pelo transmissor. A sequência “000000” sinaliza o fim da transmissão, sobrando livres 62 posições para envio de diferentes caracteres.

Complementando a interface de envio das informações existe a torre transmissora (Figura 1), formada por um LED, uma lente no modelo plano convexa, um cilindro onde as peças são acomodadas, a haste de ajuste do ponto focal e uma base articulável. O LED utilizado para gerar o feixe de luz do sistema de transmissão, emite um feixe luminoso com o comprimento de onda da luz visível variando entre 615 nm e 625 nm [Valadares et al., 2009]. A lente plano convexa tem a função de diminuir a dispersão dos fótons, colimando o feixe luminoso [Ortiz, 1862, p.307-311] emitido pelo LED.

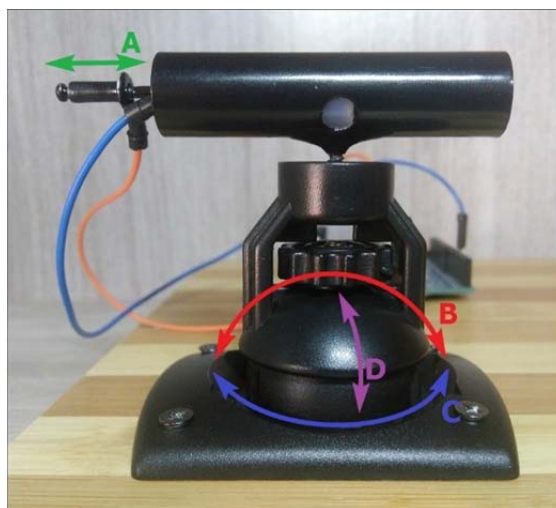


Figura 1. Torre Transmissora com o ajuste de ponto focal em 'A' e ajustes de direcionamento do feixe luminoso em 'B', 'C' e 'D'.

A torre transmissora foi montada utilizando componentes de diferentes objetos para minimizar os custos do projeto. O cilindro foi obtido de uma caneta laser, para a haste de ajuste foi utilizado um rebite, e a base foi obtida de um suporte de GPS veicular. Mesmo com um baixo custo para a produção deste componente, este permite um direcionamento preciso para o apontamento com a torre receptora que está a uma distância de 24 centímetros.

2.1.2. Módulo Receptor

O Arduino utilizado no receptor decodifica os sinais ópticos detectados por um fotodiodo para sequências binárias recebidas, converte essas sequências para caracteres ASCII e faz o envio da mensagem para a interface receptora, através de comunicação serial.

Assim como no Arduino transmissor, inicialmente o código aguarda a recepção do tempo de transmissão por bit, digitado pelo usuário na interface receptora. Para manter o sistema sincronizado, é importante informar o mesmo tempo nos dois módulos Arduino.

No receptor, o protocolo tem a função de verificar, através de uma comparação, quando a sequência binária sinalizadora de início é recebida. Então é iniciado o processo de tradução para caracteres até que seja detectada a sequência binária que sinaliza o fim da transmissão. Durante a tradução, a cada seis bits recebidos, é feita a conversão para o caractere correspondente e esse é armazenado em uma variável do tipo *string*.

O código foi desenvolvido para realizar a leitura do nível de tensão na entrada analógica do Arduino, para obter os níveis de sinal alto, baixo ou de limite para troca de bit. Esse nível é convertido para um valor lógico de 10 bits de amostragem que pode variar de 0 até 1023 unidades arbitrárias. Neste protocolo também é definido um limite

para troca de estado do bit, onde o receptor entende como bit '0' um valor lógico maior do que zero, mas abaixo do limite estabelecido, e como bit '1' o valor lógico acima do limite de decisão do decodificador. A entrada digital do Arduino também poderia ser utilizada neste projeto, mas a falta de transmissão (inatividade) poderia eventualmente ser confundida com um nível zero, o que não resultaria em uma decodificação correta.

Na interface de recepção do sinal fazem parte o módulo Arduino, a torre receptora (Figura 2) e o amplificador operacional. Esta torre é composta por um fotodiodo, um cilindro de foco, uma haste de ajuste e uma base articulável. O fotodiodo faz a conversão dos fótons que incidirem na sua superfície para um valor correspondente de corrente elétrica [Su et al., 2011]. Um amplificador operacional configurado com realimentação negativa [Pertence, 2015], eleva os níveis de tensão para um valor compatível com a entrada analógica do Arduino. O cilindro e a haste limitam o FOV (*Field of View*) do fotodiodo, para que ruídos causados por fontes de luz externas não interfiram na recepção.

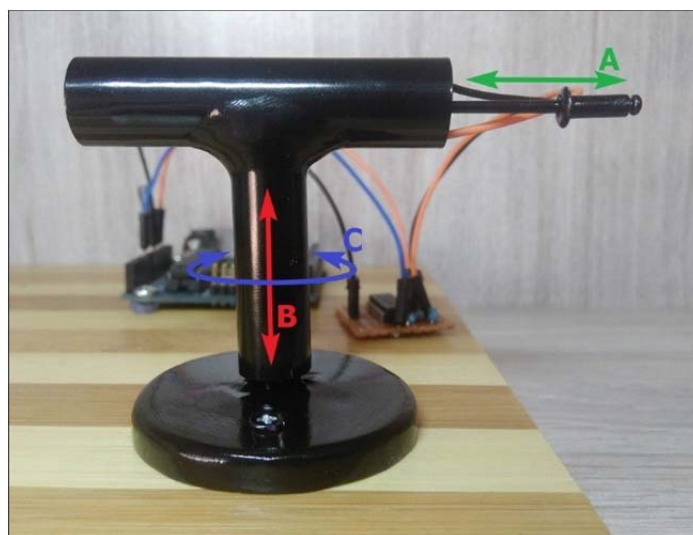


Figura 2. Torre Receptora com ajuste do FOV em 'A' e ajustes de direcionamento em 'B' e 'C'.

A base da torre receptora também foi fabricada com resina epóxi, recebendo componentes reaproveitados de diferentes objetos para manter o baixo custo na produção. O ajuste de altura da torre indicado por 'B' (Figura 2) foi realizado a partir de uma seringa, que sofreu algumas modificações para se adequar a estrutura da torre.

2.2. Interfaces de Comunicação

As interfaces de comunicação foram projetadas para proporcionar uma melhor interatividade do usuário com os módulos receptor e transmissor deste trabalho. Para o desenvolvimento destas interfaces foram utilizadas a linguagem de programação *Shell Script* [Jargas, 2008], com o *bash* como interpretador de comandos, e a ferramenta *Zenity*, para gerar as interfaces de diálogo onde é realizada a interação com o usuário. Inicialmente o código desenvolvido é responsável por detectar automaticamente a porta onde está conectada a interface Arduino, então é exibida uma caixa para inserção de texto, onde o usuário pode digitar o tempo de transmissão por bit. Após esta entrada é exibido ao usuário um menu de opções, onde é possível acessar o item de ajuda, que disponibiliza uma caixa de texto com explicações detalhadas de como operar o sistema e executar suas funcionalidades.

2.2.1. Interface Transmissora

A interface transmissora possui a função de detectar a porta do computador onde o Arduino transmissor está conectado, registrar o tempo de transmissão por bit, e registrar a mensagem digitada pelo usuário. Entre as opções exibidas no menu da interface, é encontrada a opção “Digitar_mensagem”, que carrega uma caixa de texto para o usuário digitar a mensagem a ser enviada pela tecnologia VLC até o receptor.

2.2.2. Interface Receptora

A interface receptora inicialmente detecta a porta em que o Arduino receptor está conectado e registra o tempo de transmissão por bit digitado pelo usuário. Após é exibido um menu de opções, onde pode ser acessada, entre outras, a opção “Exibir_mensagens”, para carregar e exibir as mensagens já recebidas, ou a opção “Limpar_log”, para apagar as mensagens já recebidas.

3. Resultados

Nesta seção são apresentados os resultados mais relevantes obtidos nos ensaios de laboratório em condições controladas. Foram realizados diferentes ensaios com o sistema VLC desenvolvido para a coleta dos primeiros resultados de operação em diferentes condições de propagação dos sinais ópticos pela atmosfera, definindo as suas capacidades e limitações específicas. Também são sendo listados os problemas encontrados nos ensaios de operação e as respectivas soluções implantadas para contornar essas falhas, mantendo o protótipo com a maior eficiência possível.

3.1. Ensaio em Ambiente sem Iluminação – Ruído de Fundo

Nesse ensaio inicial, o protótipo foi colocado em operação em um ambiente onde não existia nenhum tipo de iluminação externa para evitar a contaminação de fótons que não pertenciam ao sistema. O objetivo deste ensaio foi avaliar a dinâmica de recepção do fotodetector utilizado em um ambiente controlado para a calibração dos valores resultantes na operação real, conforme apresentado para o ambiente escuro (Tabela 1).

Tabela 1. Resultados obtidos com o ensaio em um ambiente sem iluminação externa – Avaliação do ruído de fundo do sistema para calibração

Tempo por bit (ms)	4	8	16	32	64
Número máximo de caracteres	4	10	21	41	75
Taxa de bits (bps)	250	125	62,5	31,2	15,6
Nível de sinal baixo (0 – 1023 u.a.)	0				
Limite de nível (0 – 1023 u.a.)	100				
Nível de sinal alto (0 – 1023 u.a.)	250				

Os resultados da tabela demonstram na 1ª linha o tempo padrão utilizado para o envio de um bit, na 2ª linha o número máximo de caracteres sem que ocorra algum erro na transmissão, na 3ª linha a taxa de transmissão máxima que o sistema atinge, na 4ª linha o valor de tensão que representa bit 0 lido na entrada analógica do Arduino, na 5ª linha o valor lógico definido para o sistema diferenciar as leituras de bit 1 e bit 0, e na 6ª linha o valor de tensão lido para o bit 1. Os valores de tensão lidos foram convertidos em níveis lógicos de 10 bits (0 – 1023 u.a.). Para as demais tabelas deste trabalho, a 3ª linha (taxa de transmissão) está sendo omitida para diminuir a redundância das informações.

3.2. Transmissão de Sinais Através da Água - Atenuação

Para aproximar a operação do sistema simulando a transmissão de sinais ópticos em um ambiente chuvoso, e considerando que os feixes de luz atingirão preferencialmente o eixo central das gotículas de chuva, foi inserido entre as torres transmissora e receptora um recipiente com um formato que se aproxima de um quadrado, cheio de água, por onde os fótons devem atravessar para chegar até o fotodiodo.

Os resultados (Tabela 2) foram semelhantes aos apresentados no ensaio anterior (Tabela 1), com uma diferença visível nos níveis de sinal alto e baixo. Devido aos ruídos causados pela presença de luz natural no ambiente, estes níveis se elevaram e necessitaram de uma calibração posterior. A comunicação ocorreu sem a presença de efeitos de refração no sinal, pois seu eixo de propagação é perpendicular à parede do recipiente, não alterando a trajetória do feixe pela mudança do índice de refração dos meios (ar – água – ar), semelhante ao que aconteceria ao atravessar uma gota de chuva pelo eixo central.

Tabela 2. Resultados obtidos com a transmissão de sinais através da água

Tempo por bit (ms)	4	8	16	32	64
Número máximo de caracteres	4	10	21	41	78
Nível de sinal baixo (0 – 1023 u.a.)	5				
Limite de nível (0 – 1023 u.a.)	100				
Nível de sinal alto (0 – 1023 u.a.)	260				

3.3. Recipiente com Água e Partículas - Espalhamentos

Neste experimento foi realizada uma diluição de 5% de leite no volume total de água do recipiente utilizado no ensaio de transmissão pela água. O objetivo deste experimento é avaliar a transmissão através de um meio com alta densidade de pequenas partículas em suspensão, diretamente no caminho do feixe de luz, que acarreta no redirecionamento e absorção dos fótons durante a transmissão. Pode-se observar pela superfície do recipiente que o feixe de luz ilumina as partículas do leite que está diluído na água (Figura 3), alterando sua direção de propagação e não permitindo que este chegue até o receptor. Nesse caso, mesmo ajustando o valor do limite de nível, o Arduino receptor falhou diversas vezes na detecção, ocasionando na inversão da leitura ao ler bit “1” com bit “0” e vice-versa.



Figura 3. Visualização do feixe de luz devido à presença de partículas no meio.

3.4. Ensaio com Redirecionamento do Feixe Através de Espelhos

Com o auxílio de espelhos planos posicionados adequadamente para refletir o feixe luminoso algumas vezes, foi realizada a simulação da propagação dos sinais ópticos confinados, como

em uma fibra óptica ou em um mecanismo de multipercurso. Embora este último caso não possa ser considerado uma forma guiada de transmissão dos sinais ópticos, ele representa uma característica comum de propagação do feixe em um ambiente real de utilização, sendo este direcionado de acordo com os elementos interferentes do entorno do enlace montado.

Conforme demonstrado nos resultados obtidos (Tabela 3), foi necessário alterar o limite de nível para o valor 30, devido à queda dos limiares dos sinais recebidos pela atenuação de fótons durante a reflexão nos espelhos, e devido também a distância do percurso que passou de 24 para 35 centímetros. A 6ª coluna da 2ª linha representa que foram transmitidos somente 36 caracteres sem a ocorrência de erros utilizando 64 ms por bit, a ocorrência prematura de erros se deu devido à proximidade entre o nível de sinal baixo com o nível de sinal alto. Também foi necessário regular a haste da torre receptora, resultando no aumento do ângulo de visão do fotodiodo.

Tabela 3. Resultados obtidos com o redirecionamento do feixe luminoso

Tempo por bit (ms)	4	8	16	32	64
Número máximo de caracteres	4	10	21	42	36
Nível de sinal baixo (0 – 1023 u.a.)	0				
Limite de nível (0 – 1023 u.a.)	30				
Nível de sinal alto (0 – 1023 u.a.)	44				

3.5. Transmissão de Sinais Através da Fumaça

Nesse ensaio o ambiente de transmissão foi preparado para simular um fenômeno de nevoeiro (condensação da água e partículas sólidas em suspensão). Como se trata de um experimento didático em laboratório, na preparação, foi realizada a queima de carvão vegetal para gerar o espalhador da luz, representando o nevoeiro. Uma grande parte do feixe luminoso foi refletido ao tentar atravessar a fumaça, o que causou forte atenuação no sinal.

Os resultados obtidos (Tabela 4) demonstram que devido à forte atenuação do sinal, o limite de nível teve de ser ajustado para manter a relação entre o nível de sinal baixo e alto. A leitura obtida do nível de sinal baixo, encontrada na 3ª linha, foi 0, pois não havia nenhum ruído no ambiente durante a realização do experimento. Na 5ª linha é exibido o valor lógico 94, com uma regra de três é possível identificar que ocorreu uma atenuação de 0,76 volts no sinal recebido em comparação com o primeiro experimento realizado (Tabela 1).

Tabela 4. Resultados obtidos com a transmissão através da fumaça

Tempo por bit (ms)	4	8	16	32	64
Número máximo de caracteres	4	10	21	41	78
Nível de sinal baixo (0 – 1023 u.a.)	0				
Limite de nível (0 – 1023 u.a.)	50				
Nível de sinal alto (0 – 1023 u.a.)	94				

4. Conclusão

Este trabalho desenvolveu um módulo didático com tecnologia VLC para utilização em processos de ensino e aprendizado nos laboratórios de telecomunicações, com objetivo de demonstrar de forma prática e intuitiva os fenômenos envolvidos na propagação de sinais ópticos pela atmosfera. Através da utilização de comprimentos de onda de luz visível e experimentos direcionados para a simulação dos efeitos naturais de propagação, estes

módulos apresentaram significativa aplicabilidade e eficiência no complemento dos ensinamentos de sala de aula.

Foram realizados diferentes experimentos em condições controladas para a simulação de operação em ambientes reais de utilização, confrontando os resultados obtidos através das medições com a visualização dos traçados do feixe de luz visível, conferindo ao sistema uma boa coerência em relação aos resultados esperados. Pequenos problemas foram encontrados e resolvidos a partir dos experimentos realizados, incrementando a eficiência do sistema como um todo.

O protótipo já se encontra operacional, e está sendo realizada a implementação de modelos para impressão em 3D das estruturas e proteções. Este próximo passo do trabalho permite que sejam desenvolvidas diversas unidades educacionais para o CTISM em um curto período de tempo e baixo custo, permitindo uma maior utilização de todos os alunos do Curso de Redes de Computadores nas disciplinas desta área de conhecimento.

Referências

- 9TH EUROPEAN CONFERENCE ON RADIATION AND ITS EFFECTS ON COMPONENTS AND SYSTEMS, 2007, Deauville. BPW34 commercial p-i-n diodes for high-level 1-MeV neutron equivalent fluence monitoring... IEEE, 2009. 8 p. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/5205483>>. Acesso em: 14 jun. 2017.
- ANATEL, Plano de atribuição, destinação e distribuição de faixas de frequências no Brasil. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documento.asp>. Acesso em: 10 jun. 2017.
- FILHO, Vilmei Francisco Romano. VLC - Comunicação Óptica por Luz Visível. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília – UnB, Faculdade Gama - FGA, 2015.
- GOMEZ, A.; KAI Shi; QUINTANA, C.; SATO, M.; FAULKNER, G.; THOMSEN, B.C.; O'BRIEN, D., Beyond 100-Gb/s Indoor Wide Field-of-View Optical Wireless Communications, Photonics Technology Letters, IEEE, vol.27, no.4, pp.367,370, 2015.
- JARGAS, Aurélio Marinho. Shell Script profissional. São Paulo: Novatec, 2008. 481 p.
- KARTALOPOULOS, S. V. DWDM: Networks, Devices, and Technology. 1. ed. Wiley-IEEE Press, 2002. 520 p. Disponível em: <<http://www.globalspec.com/reference/21547>>. Acesso em: 14 jun. 2017.
- MCROBERTS, M. Arduino Básico. 2. ed. São Paulo: Novatec, 2015. 25 p. Disponível em: <<https://s3.novatec.com.br/capitulos/9788575224045.pdf>>. Acesso em: 22 jun. 2017.
- ORTIZ, P. P. Óptica: Prismas y lentes. In: ORTIZ, P. P. Principios Elementales de Física Experimental Y Aplicada... Conteniendo Todos Los Ultimos Descubrimientos Y Aplicaciones Recientes a la Industria, Artes, Etc., Usos Y Objetos de la Vida Comun. New York: Columbia University, 1862. cap. 14, p. 307-311. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=MVVDAAAAYAAJ>>. Acesso em: 14 jun. 2017.
- TANENBAUM, A. S.: Redes de Computadores. 4ª Ed., Editora Campus (Elsevier), 2003.
- VALADARES, Eduardo C.; MOREIRA, Alysson M. Caderno Catarinense de Ensino de Física. Ensinando fisica moderna no segundo grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro, Belo Horizonte, p. 121-135, ago. 2009. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/5205483>>. Acesso em: 08 jun. 2017.