

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

PEDRO AUGUSTO KRIEGER

**USO DE SENSOR DE PARTICULADOS NA SAÍDA DE UM
PRECIPITADOR ELETROSTÁTICO UTILIZANDO HARDWARE LIVRE
(ARDUINO)**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2016

PEDRO AUGUSTO KRIEGER

**USO DE SENSOR DE PARTICULADOS NA SAÍDA DE UM
PRECIPITADOR ELETROSTÁTICO UTILIZANDO HARDWARE LIVRE
(ARDUINO)**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação,
apresentado como requisito parcial para obtenção
do título de bacharel em Engenharia Ambiental – da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Laercio Mantovani Frare

Coorientador: Prof. Me. Hamilton Pereira da Silva

MEDIANEIRA

2016



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Medianeira



TERMO DE APROVAÇÃO

USO DE SENSOR DE PARTICULADOS NA SAÍDA DE UM PRECIPITADOR ELETROSTÁTICO UTILIZANDO HARDWARE LIVRE (ARDUINO)

por

PEDRO AUGUSTO KRIEGER

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 13:30 horas do dia 24 de junho de 2016, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____.

Prof. Dr. Laercio Mantovani Frare
Orientador

Prof. Me. Hamilton Pereira da Silva
Coorientador

Prof. Dr. Eduardo Eyng
Membro titular

Prof. Dr. Rafael Arioli
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Aos meus pais, Maria Lúcia e Ramão Antônio.

AGRADECIMENTOS

À Deus por me guiar diante das minhas dificuldades, estando presente em todos os momentos dessa caminhada.

Aos meus pais, Maria Lidia Krieger e Ramao Antonio Krieger, por terem me apoiado e incentivado a todo momento. Sabias palavras de dona Maria ao dizer “ estude menino se não pego uma cinta pra você”. Ao meu pai por sempre citar as palavras de meu avô: “ estude que os livros pesam menos que uma enxada”

À minha irmã, Gabriela Krieger, por sempre torcer por mim.

Ao professor Doutor Laercio Mantovani Frare pelas orientações e conhecimentos transmitidos ao longo desses anos.

Ao professor, de Ciência da Computação, Hamilton Pereira da Silva pelo auxílio no desenvolvimento do trabalho permitindo que esse trabalho chegasse ao objetivo esperado.

Ao meu velho e sábio amigo Leonardo Furst, pela paciência e humildade.

À Republica Zion que sempre me acolheu.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela formação acadêmica.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

*Se enxerguei mais longe, foi porque
me apoiei nos ombros de gigantes.*

Isaac Newton

RESUMO

KRIEGER, Pedro Augusto. **USO DE SENSOR DE PARTICULADOS NA SAÍDA DE UM PRECIPITADOR ELETROSTÁTICO UTILIZANDO HARDWARE LIVRE (ARDUINO)**. 2016. 53p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2016.

A emissão de material particulado está relacionada há algumas fontes como escapamentos de veículos, gases emitidos por indústrias entre outros potenciais geradores de poluentes nocivos à saúde ambiental. A partir de alguns episódios drásticos de contaminação atmosférica, surgiram equipamentos de controle de emissões atmosféricas. Entre os diversos equipamentos utilizados tem-se os Precipitadores Eletrostáticos (PE). Os PE têm como vantagem uma alta eficiência na coleta de partículas de pequeno diâmetro. Neste trabalho construiu-se um PE, em escala de bancada, para observar a remoção de particulados gerados por uma fonte pontual. A medição da concentração dos particulados na saída do PE foi determinada por um sensor de particulados acoplado a uma placa arduino. Foram realizados testes operacionais no sistema e observou-se a alta remoção de particulados comprovados pela medição da concentração de partículas pelo sensor. Ao final do trabalho, obteve-se um módulo funcional que pode ser utilizado para aulas práticas demonstrativas do funcionamento de um PE.

Palavras-chave: Poluição atmosférica. Material particulado. Bancada.

ABSTRACT

KRIEGER, Pedro Augusto Krieger. **PARTICULATE SENSOR FOR USE IN OUTPUT OF A ELECTROSTATIC PRECIPITATOR USING FREE HARDWARE (ARDUINO)**. 2016. 53p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2016.

The emission of particulate matter is related to sources such as exhausts of vehicles, gases emitted by industries and other potential generators of harmful pollutants to environmental health. From some dramatic episodes of air pollution, there were air emissions control equipment. Among the various equipment used has the electrostatic precipitators (PE). PE has the advantage of high efficiency in collecting small diameter particles. In this paper we built a PE, bench scale, to observe the removal of particulates generated by a point source. The measurement of the concentration of particulates in EP output was determined by particulate sensor coupled to an Arduino board. Tests were conducted in operating system and observed the high particulate removal proven by measuring the particle concentration by the sensor. At the end of the work, obeteve is a functional module that can be used for demonstrative practical classes the operation of a PE.

Keywords: Air pollution. Particulate matter. Stand.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Funcionamento do precipitador.....	17
Figura 2 - Precipitador eletrostático industrial.....	17
Figura 3 - Efeito corona.....	18
Figura 4-LilyPad Arduino.....	20
Figura 5- Arduino Nano	20
Figura 6- Arduino Diecimila.....	20
Figura 7 - Arduino Uno	20
Figura 8 - Sensor de material particulado	22
Figura 9 - Sensor de partículas SHARP	23
Figura 10 - Placa Arduino UNO.....	24
Figura 11 - Fonte de alta tensão	24
Figura 12 - Tubo de vidro contendo tela metálica e haste de cobre.	25
Figura 13 - Esquema eletrônico	26
Figura 14 - Sistema eletrônico responsável por gerar a alta tensão.....	26
Figura 15 - Aparato experimental	27
Figura 16 - Curva de calibração do sensor	28
Figura 17 - Ilustrações das conexões entre o sensor, protoboard e Arduino Uno.....	29
Figura 18 - Variação da concentração de partículas em função do tempo.....	31
Figura 19 - Gráfico de leitura do sensor no tempo total.....	32
Figura 20 - Vista frontal do módulo de estudo para demonstração de precipitadores eletrostáticos	33
Figura 21 - Disposição dos elementos que compõe o sistema.	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVO GERAL	12
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1 EMISSÕES ATMOSFÉRICAS	13
3.1.1 Particulados	13
3.1.2 Efeitos dos particulados	14
3.2 CONTROLE DE POLUIÇÃO	15
3.2.1 Precipitador Eletrostático	16
3.3 EFEITO CORONA	18
3.3 PLATAFORMA ARDUINO	19
3.3.1 Aduino Uno	20
3.4 SENSORES	21
3.4.1 Medidor de partículas	22
4 MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1 MATERIAIS UTILIZADOS PARA MONTAGEM DO APARATO EXPERIMENTAL	23
4.2 APARATO EXPERIMENTAL PARA REMOÇÃO DE PARTICULADOS	25
4.3 CURVA DE RESPOSTA DO SENSOR DE PARTICULADOS	28
4.4 OBTENÇÃO DOS DADOS DE CONCENTRAÇÃO DE PARTICULADOS	29
4.4.1 Programa de Leitura dos Dados de Concentração de Particulados	30
5 RESULTADOS	31
6 CONCLUSÃO	34
REFERÊNCIAS	35
APÊNDICE A – CÓDIGO DE LEITURA DO SENSOR	37
ANEXO A – RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS DO SENSOR (DATASHEET)	39

1 INTRODUÇÃO

Segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente(CONAMA) Resolução n° 03/90, considera-se poluente qualquer substância presente no ar que, pela sua concentração, possa torná-lo impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, causando inconveniente ao bem-estar público, danos aos materiais, à fauna e à flora

Os poluentes atmosféricos existem sob a forma de gases, vapores e de particulados e podem ser naturais e/ou antropogênicos, provenientes de fontes fixas e/ou móveis.

A partir de alguns episódios drásticos de contaminação atmosférica, surgiram algumas medidas de controle de emissões atmosféricas afim de conhecer e monitorar a qualidade do ar, baseada na concentração de poluentes no ambiente que nos rodeia. A medição deve ser feita de forma a expressar o mais fielmente possível a qualidade do ar que respiramos e o grau de presença na atmosfera de elementos nocivos à saúde ambiental.

Um dos equipamentos que compõem um sistema de controle de poluição atmosférica é o precipitador eletrostático, também conhecido como um filtro de ar eletrostático. Este dispositivo captura partículas ou poluentes, gerados pelo escape de gases das chaminés das fabricas, através de um processo de ionização na qual as partículas são eletrostaticamente carregadas. Um mecanismo de coleta nas laterais no precipitador, geralmente placas metálicas, atraem as partículas carregadas para as paredes do equipamento que são neutralizadas antes de serem removidas.

Em busca da inovação tecnológica para sistemas de controle de poluição atmosférica, este trabalho desenvolveu um precipitador eletrostático, fazendo uso de um medidor de partículas ligado a uma placa arduíno. O equipamento construído tem condições de medir as concentrações de poluentes em tempo real.

2 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um sistema de leitura da concentração de material particulado na saída de um precipitador eletrostático, em escala de bancada, ligado a uma fonte de alta tensão, fazendo uso de um sensor de partículas conectado a uma placa Arduino

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir um precipitador eletrostático de bancada;
- Utilizar o sistema Arduino em um precipitador eletrostático de bancada;
- Desenvolver um circuito auxiliar capaz de fornecer alta tensão ao precipitador.
- Analisar a eficiência de remoção de particulados pelo precipitador de bancada;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

De acordo com a Resolução CONAMA N°. 003/90, são padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas poderão afetar a saúde, a segurança e o bem estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Ainda conforme a mesma resolução federal, entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou característica em desacordo com os níveis estabelecidos, e que possam tornar o ar: Impróprio, nocivo ou ofensivo a saúde; inconveniente ao bem estar público; danos à fauna e a flora; prejudicial a segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Segundo a declaração de emissões atmosféricas do Instituto Ambiental do Paraná, emissões atmosféricas são substâncias em forma de partículas, gases e aerossóis que se formam como subprodutos dos processos de combustão ou das transformações de matéria-prima que, quando lançadas à atmosfera em concentrações superiores à capacidade do meio ambiente em absorve-las, causam alterações na qualidade do ar.

3.1.1 Particulados

Conforme a Resolução CONAMA N°. 382/06, que define material particulado ou MP, como sendo todo e qualquer material sólido ou líquido, em mistura gasosa, que se mantém neste estado de temperatura do meio filtrante, estabelecida pelo método adotado.

A United States Environmental Protection Agency - US EPA (2006) caracteriza o material particulado pela mistura de partículas sólidas ou líquidas encontradas no ar.

Algumas destas partículas podem ser vistas a olho nu, como é o caso das poeiras ou resíduos, outras somente com uso de microscópios eletrônicos, como é o caso do MP2,5 que são partículas com diâmetro de 2,5 micrômetros ou menos e o MP10, partículas com diâmetro entre 2,5 e 10 micrômetros. O material particulado pode ser emitido diretamente na atmosfera ou se formar na atmosfera a partir de emissões primárias de gases.

A emissão de material particulado está relacionada há algumas fontes como emissão dos escapamentos de veículos, gases emitidos por indústrias, pulverização de pesticidas, ou ainda causas naturais como erupções de vulcões, decomposições biológicas, entre outras (ALMEIDA, 1999;).

3.1.2 Efeitos dos particulados

O material particulado é o poluente que está diretamente ligado aos efeitos maléficos a saúde humana. A toxicidade do material particulado depende de sua composição e diâmetro. Alguns estudos têm relacionado a exposição diária a níveis de material particulado com a redução da expectativa de vida. Para Borges et al. (2009, p.84), os efeitos crônicos também têm sido demonstrados a partir da detecção de alterações estruturais dos pulmões de indivíduos que habitam regiões com elevadas concentrações de MP.

A primeira demonstração clara de que os níveis de MP promovem alterações inflamatórias difusas do trato respiratório em humanos veio de estudos de Souza et al., (1998), em que foram detectados hiperplasia muco-secretora, remodelamento com fibrose das pequenas vias aéreas e lesão da região centroacinar de jovens falecidos por causas externas na região metropolitana de São Paulo. Nesse mesmo estudo, as lesões observadas estavam em íntima relação anatômica com focos de deposição e retenção de material carbonáceo (antracose), sugerindo uma relação de causa e efeito.

As pequenas partículas e gotículas presentes no material particulado, são responsáveis por uma série de problemas de saúde. Estudos apontam para diversas doenças causadas por contaminação de MP, entre eles estão a morte prematura de cardíacos, problemas do coração como ataques cardíacos e arritmia cardíaca. Ainda

há relatos de desenvolvimento de asma em crianças e outros problemas relacionados ao sistema respiratório, como irritação das vias aéreas, tosse e dificuldade de respiração.

3.2 CONTROLE DE POLUIÇÃO

O controle da poluição do ar envolve desde o planejamento da distribuição de centros urbanos e industriais até a ação direta sobre a fonte de emissão.

As medidas mais utilizadas para controlar esse tipo de poluição são:

- Medidas Indiretas: ações que visam a eliminação, redução ou afastamento dos poluentes.

- Planejamento urbano (Melhor distribuição espacial das fontes de poluição, melhoria do sistema viário, etc);

- Diluição através de chaminés altas (Buscando reduzir a concentração dos poluentes ao nível do solo);

- Medidas para impedir a geração dos poluentes (Adotando medidas como substituição de combustíveis, matérias primas, e reagentes dos processos);

- Medidas para reduzir a geração dos poluentes (Operar os equipamentos dentro de sua capacidade nominal, operar e manter adequadamente os equipamentos produtivos, etc).

Medidas Diretas: ações que visam reduzir a quantidade de poluentes lançados, através da instalação de equipamentos de controle. A classificação e seleção dos equipamentos de controle de poluição do ar envolvem diversos parâmetros como mecanismo de controle, uso ou não de água ou outro líquido, etc). Os principais equipamentos de controle de poluição do ar que minimizam as emissões de material particulado são: Precipitadores eletrostáticos, Filtros de mangas, Lavadores úmidos e secos.

3.2.1 Precipitador Eletrostático

Precipitadores eletrostáticos removem material particulado de uma corrente gasosa através da criação de alto diferencial de voltagem entre eletrodos. Quando o gás com partículas passa entre os eletrodos, as moléculas gasosas ficam ionizadas, resultando em cargas nas partículas. Estas, carregadas, são atraídas para o prato de carga oposta e removidas enquanto o gás prossegue. Durante a operação, os pratos são limpos periodicamente para retirar a camada de pó que fica sobreposta (PARKER,2003)

O princípio de operação de um precipitador eletrostáticos se dá basicamente pelo fornecimento de carga elétrica as partículas, que quando carregadas são submetidas a um campo elétrico de forma que sua velocidade de migração eletrostática seja direcionada a uma placa ou objeto metálico aterrado, que por sua vez perdem suas cargas formando uma camada de pó que em seguida serão removidas do sistema.

Com essa configuração, o ar sujo entra no precipitador e as partículas são carregadas negativamente pelos elétrons gerados pelo efeito corona do eletrodo negativo. Em seguida, as partículas migram para o eletrodo positivo, onde se aderem. Dessa forma o ar sai limpo pelo outro lado. Um esquema dessa explicação é representado na Figura 1.

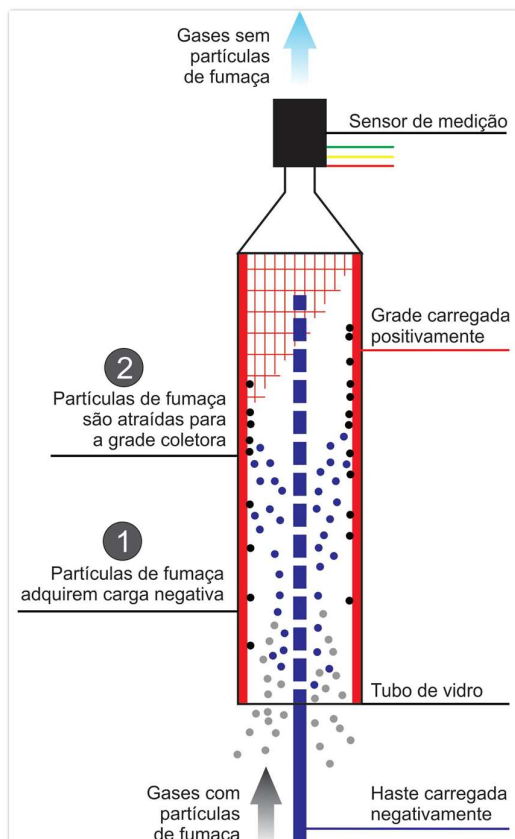


Figura 1 - Funcionamento do precipitador

Este equipamento é aplicado principalmente no controle de poluição atmosférica, de forma que a emissão de material particulado esteja de acordo com a legislação em vigor, tanto nos processos industriais, quanto na incineração de resíduos (Kim et al.,2001). Na Figura 2 pode-se observar um modelo de precipitador eletrostático mais comum utilizado em escala industrial.



Figura 2 - Precipitador eletrostático industrial
 Fonte - <http://www.cbcsa.com.br/precipitador.asp>

Suas principais vantagens são a alta eficiência na coleta de material particulado e o consumo de energia relativamente baixo. Porém sua grande desvantagem é o custo de compra e instalação do equipamento levando em consideração sua baixa flexibilidade das faixas de operação, uma vez que esse equipamento apresenta uma alta sensibilidade as condições da corrente gasosa (temperatura e composição do gás e material particulado).

3.3 EFEITO CORONA

Segundo Lopes (2008) o efeito corona é um mecanismo de descarga eletrostática que acontece devido a ionização em um material isolante, geralmente um gás, sujeito a um campo elétrico de intensidade acima de um nível crítico.

O princípio corona é a ionização das moléculas presentes no meio em questão, diretamente relacionadas com a intensidade do campo elétrico a que estão expostas. Uma vez ionizadas, sofrem uma força de arraste, gerada pelo campo elétrico, criando uma velocidade de migração em direção ao polo negativo. A Figura 3 ilustra o princípio do efeito corona.

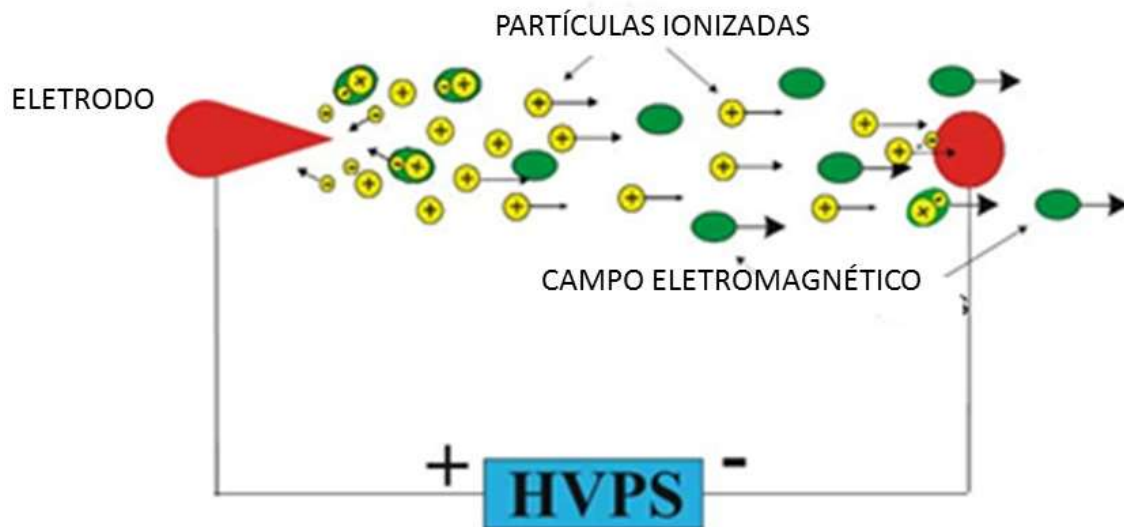


Figura 3 - Efeito corona.

3.3 PLATAFORMA ARDUINO

Arduíno, como é chamado no Brasil, foi desenvolvido no Instituto de Interatividade e Design que é uma escola de Artes visuais na cidade de Ivrea na Itália, a partir de uma ideia dos professores de Computação Física, David Cuartielles e Massimo Banzi (SILVEIRA, 2013).

O principal objetivo era ser uma plataforma de prototipagem eletrônica com um custo razoavelmente baixo em relação as demais plataformas existentes até o momento e com manuseio simples, onde qualquer pessoa, mesmo sem nenhum conhecimento prévio em eletrônica ou programação avançada pudesse vir a desenvolver projetos e ambientes interativos (PINTO, 2011).

O microcontrolador Arduíno é composto basicamente por um hardware, que é a parte física deste, onde estão dispostas entradas e saídas e um software que é um ambiente de desenvolvimento por meio do qual a programação do sistema é feita para o funcionamento de um determinado projeto, fazendo uso da linguagem do arduino.

A plataforma Arduíno possui diversas utilidades e os projetos criados utilizando este microcontrolador, permitem com o uso do software e hardware que compõem o sistema, acessar o mundo físico, servindo como ferramenta nos mais diferentes campos como exemplo o monitoramento ambiental, controle de processos entre outros.

Desde a criação do Arduíno, até os dias de hoje, o número de usuários cresceu consideravelmente. Segundo o site oficial¹ mais de 150.000 placas arduino oficiais foram vendidas. A plataforma em questão, tanto o hardware como o software são de fonte aberta, ou seja, qualquer pessoa pode utilizar os códigos, esquemas ou até os projetos seja qual for a finalidade, viabilizando a criação de inúmeras placas clone, contanto que não se utilize o termo “Arduíno” para nomear tal clone. (ROBERTS, 2011).

Hoepers (2012), em seu trabalho cita alguns dos modelos de placas Arduino já criados, como pode ser observado nas Figuras 4, 5 e 6.

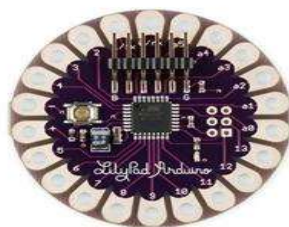


Figura 4-LilyPad Arduino
Fonte: Arduino (2015).



Figura 5- Arduino Nano
Fonte: Arduino (2015).



Figura 6- Arduino Diecimila.
Fonte: Arduino (2015)

3.3.1 Aduino Uno

O Arduino UNO é um microcontrolador baseado em um processador ATmega 328, com entrada e saída digital, entrada analógica, um ressoador cerâmico de 16 MHz, conexão USB, uma tomada de energia, uma cabeceira ICSP (In-Circuit Serial programming) e um botão de reset, compondo dessa maneira todos os componentes necessários para o suporte do microcontrolador (ARDUINO, 2015). Como ilustra a Figura 7.



Figura 7 - Arduino Uno

O nome “UNO”, que significa um em italiano é desta forma nomeado para marcar a criação do Arduino 1.0, o primeiro desta série e o modelo mais atual dentre as placas dessa plataforma com USB.

O primeiro Arduino foi baseado no circuito básico com um microcontrolador AVR ATmega8 da empresa americana Atmel Corporation no ano de 2005 numa escola de artes interativas e design na Itália (SILVEIRA, 2013).

3.4 SENSORES

São dispositivos que convertem uma grandeza física, de qualquer espécie, em outro sinal que possa ser transmitido a um elemento indicador, para que o mesmo apresente o valor da grandeza que está sendo medida ou que seja inteligível para o elemento de comparação de um sistema de controle (FUENTES, 2005).

A transformação e conversão de sinal podem acontecer de forma direta ou indireta. Quando estes operam indiretamente os sensores modificam as propriedades iniciais como a resistência, capacitância ou a indutância quando expostos a determinada grandeza, já quando operam diretamente, os sensores transformam uma determinada forma de energia em outra, são comumente chamados de transdutores (DONATO, 2013).

Atualmente em virtude da versatilidade e baixo custo dos sensores cresceu o seu emprego rapidamente nos mais diversos campos. Entre as aplicações que os sensores possuem Loureiro et al (2003), citam a utilização destes em controle em ambientes industriais, monitorar o tráfego de veículos, pessoas, na medicina para monitorar órgãos ou detectar substâncias perigosas, detecção de vazamentos de gases, controle de temperatura e umidade.

Segundo Fuentes (2005), existem dois tipos de sensores, que são os sensores discretos e analógicos e são assim separados em razão da natureza do sinal de saída. No primeiro tipo de sensor o sinal quantificado indica a existência ou não de um evento assim sendo este sensor deve assumir os valores zero ou um ou uma combinação destes. Já no segundo caso, os sensores analógicos sinal cuja informação pode assumir qualquer valor dentro de uma faixa.

3.4.1 Medidor de partículas

Um sistema para a leitura de gases será composto por um sensor de material particulado. A descrição do medidor segundo o fabricante SHARP, o modelo GP2Y1010AU0F é um sensor de poeira por detecção óptica. Um diodo emissor de infravermelho (IRED) e um fototransistor estão dispostos diagonalmente para este dispositivo que detecta a luz refletida de poeira no ar. É eficiente especialmente na detecção de partículas muito finas como a fumaça de cigarro. Além disso ele pode distinguir fumaça de poeira doméstica pelo padrão de impulsos de tensão de saída, como pode ser visto na Figura 8.



Figura 8 - Sensor de material particulado
Fonte – SHARP (2016).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS UTILIZADOS PARA MONTAGEM DO APARATO EXPERIMENTAL

Os materiais utilizados para a montagem do aparato experiemntal foram:

- Um cilindro de vidro;
- Tela metálica;
- Uma haste de cobre;
- Funil de vidro;
- Sensor de partículas;
- Incenso;
- Placa/software Arduino;
- Fonte de alta tensão;

As Figuras 9, 10 e 11 ilustram os componentes utilizados no sistema.

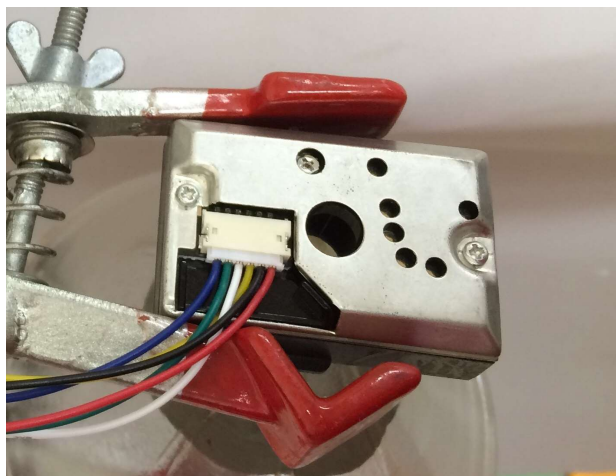


Figura 9 - Sensor de partículas SHARP

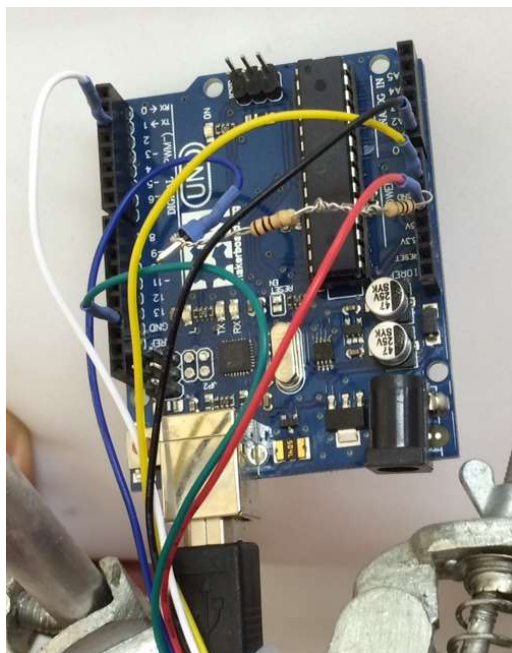


Figura 10 - Placa Arduino UNO

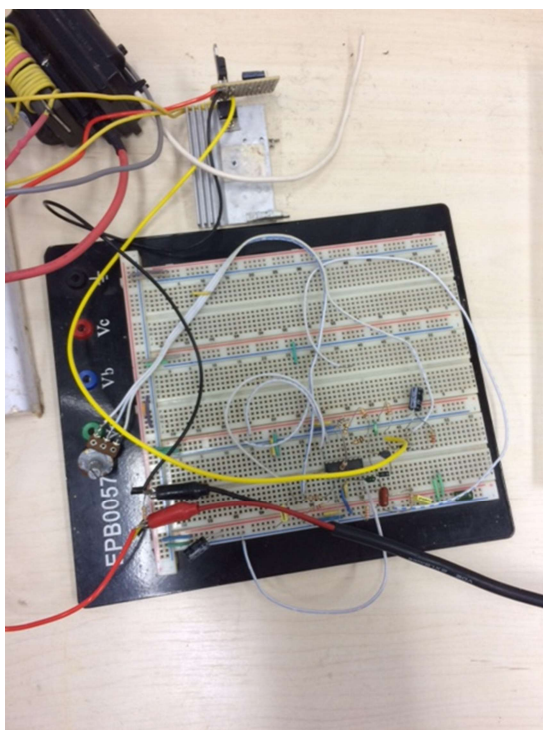


Figura 11 - Fonte de alta tensão

4.2 APARATO EXPERIMENTAL PARA REMOÇÃO DE PARTICULADOS

O aparato experimental foi montado a partir de uma proveta de vidro. A proveta de vidro foi cortada na sua base para possibilitar o fluxo de particulados obtendo-se assim um tubo de vidro. As dimensões do tubo de vidro eram 23 cm de comprimento e 4 cm de diâmetro.

Na parede interna da proveta foi colocada uma tela metálica de alumínio e no centro uma haste de cobre como ilustra a Figura 12.



Figura 12 - Tubo de vidro contendo tela metálica e haste de cobre.

A haste de cobre (denominada de eletrôdo) possuía um comprimento de 35 cm e um diâmetro de 3 mm. A haste metálica foi ligada a um polo positivo de uma fonte de alta voltagem. A tela metálica, por sua vez, foi aterrada. Desta forma, o fluxo de elétrons ocorria da haste em direção à tela metálica.

funciona da seguinte forma: um diodo emissor de infravermelho (IRED) e um fototransistor estão dispostos diagonalmente. São estes componentes os responsáveis pela detecção da luz refletida dos particulados no ar. De acordo com o fabricante, este sensor é eficiente especialmente na detecção de partículas muito finas, tais como a fumaça de cigarro. O sensor de particulados foi apresentado na Figura 8. Este sensor, por sua vez foi ligado à placa Arduino Uno para a coleta de dados da leitura de particulados.

O aparato foi montado a partir de uma proveta de vidro. Na parede interna do cilindro foi colocado uma gaiola feita com uma malha de alumínio e no centro uma haste de cobre, sendo a primeira conectada a um polo positivo e a segunda em um polo aterrado.

Na Figura 15 pode-se observar a disposição do aparato experimental completo constituído por duto de vidro (a), Placa Arduino (b), Sensor de partículas (c), Tubo de vidro (d), Gaiola metálica (e), Haste de cobre e (f). Circuito de alta tensão.

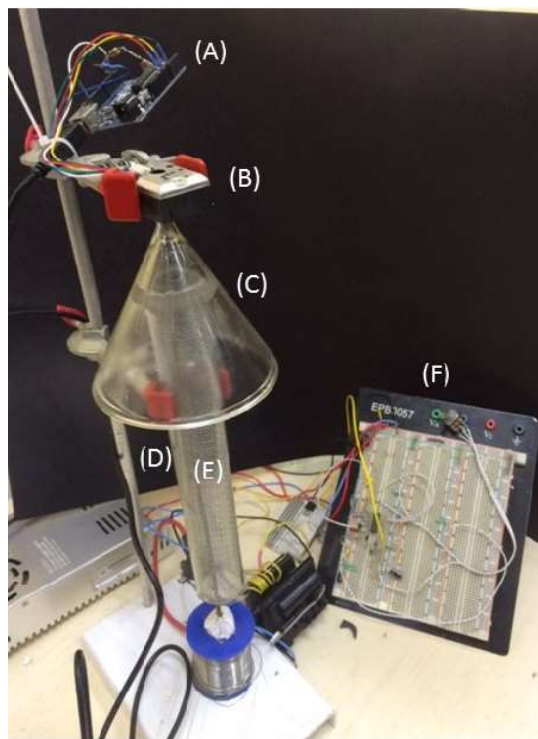


Figura 15 - Aparato experimental

4.3 CURVA DE RESPOSTA DO SENSOR DE PARTICULADOS

De acordo com o *datasheet* do sensor (Anexo A), este funciona produzindo uma alteração de tensão de acordo com a concentração de partículas que é alimentada. A curva de resposta do sensor pode ser observada na Figura 16.

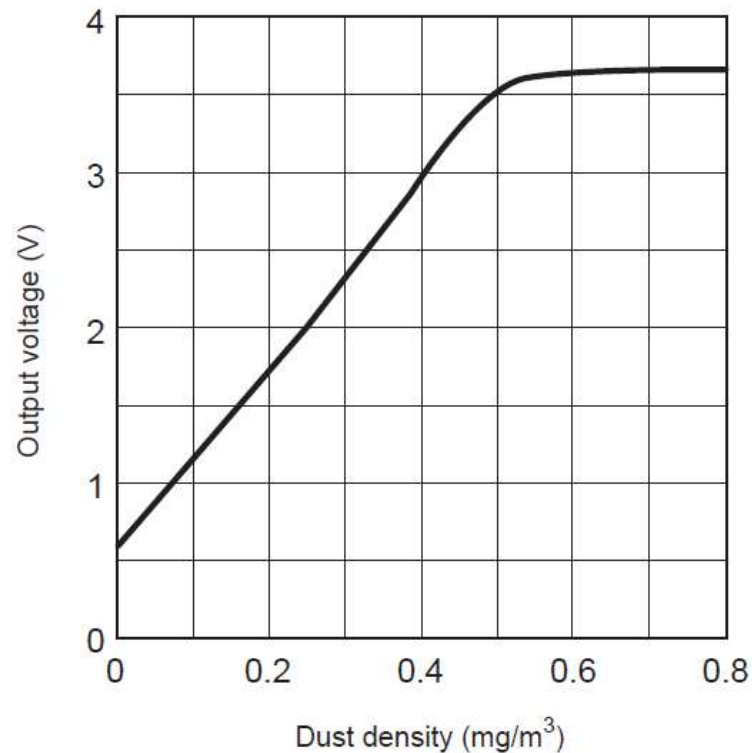


Figura 16 - Curva de calibração do sensor

Neste caso, o sensor fornece uma tensão de saída (*Output Voltage*) em volts, e esta pode ser convertida de acordo a concentração dos particulados em $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (*Dust density*). Como pode ser observado na Figura 15 o sensor possui uma limitação de detecção que varia entre 0 e $0,53 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Valores de voltagem superiores a 3,6 V são interpretados pelo sensor como uma concentração superior a $0,53 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

De acordo com a Figura 16, obteve-se uma curva de calibração para ser utilizada. Na Equação 1 tem-se a relação entre a concentração de particulados de um ambiente em função da variação da voltagem do sensor.

$$y = 0.172 * X - 0.0999 \quad (01)$$

4.4 OBTENÇÃO DOS DADOS DE CONCENTRAÇÃO DE PARTICULADOS

A obtenção dos dados de variação de voltagem em função da concentração de particulados foi realizado por meio de uma placa de Hardware Livre, conhecida como Arduino Uno. O Arduino Uno é uma placa de microcontrolador baseado no processador ATmega328 com memória flash de 32kB. Possui 14 entradas/saídas digitais e 6 entradas analógicas, um ressonador cerâmico de 16 MHz, uma conexão USB, um conector de alimentação, um conector ICSP, e um botão de reset.

O sensor de particulados foi então conectado à placa Arduino Uno por meio de uma *protoboard*. O *protoboard* auxilia na conexão dos terminais do sensor às portas de leitura da placa Arduino Uno. O esquema de ligação do sistema pode ser visualizado na Figura 17.

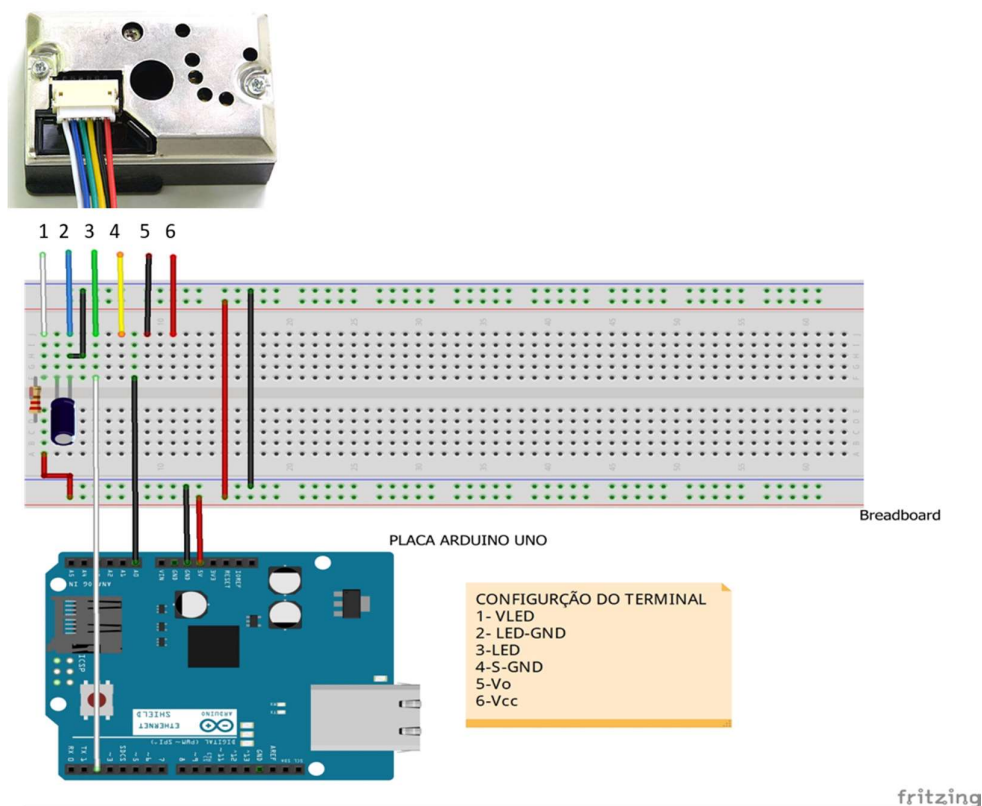


Figura 17 - Ilustrações das conexões entre o sensor, protoboard e Arduino Uno.

Os valores medidos pelo sensor foram transmitidos para um computador, por meio da placa Arduino Uno e registrados. Neste caso, tanto a alimentação quanto a comunicação para transferência de informações entre a placa Arduino Uno e o software instalado no computador foi realizada por meio de um cabo USB conectado ao computador.

4.4.1 Programa de Leitura dos Dados de Concentração de Particulados

A comunicação entre a placa Arduino Uno e o computador pode ser realizada por meio de uma interface utilizando-se um ambiente programável chamado de IDE (*Integrated Development Environment*) ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado dentro do aplicativo do próprio Arduino, que foi instalado previamente no computador. Para a obtenção dos valores de concentração dos particulados pela placa foi necessário realizar a programação do sistema. No caso do Arduino a linguagem utilizada para escrever o programa é a C. O programa que foi utilizado para a leitura da concentração de particulados pelo sensor está disponível no Apêndice A.

5 RESULTADOS

O comportamento inicial do experimento pode ser observado ao dividir a Figura 18 em 3 momentos (A, B e C). O primeiro (A) é o início do procedimento em que o sensor realiza a medição de particulados até seu limite de leitura máxima. De acordo com a Figura 18 tem-se o valor máximo de $0,52 \text{ mg/m}^3$, apresentando uma estabilidade na leitura que se mantém até os 17 segundos, instante em que se liga a fonte de alta tensão. A segunda fase do experimento, momento B, ocorre o fornecimento da alta tensão de, aproximadamente, 30kV , ao precipitador. A partir deste momento nota-se uma queda significativa na concentração de materiais particulados. Passados, aproximadamente, 10 segundos de funcionamento da fonte de alta tensão, no momento C, a concentração de material particulado no sistema alcança valores próximos ao 0 (zero), demonstrando uma alta eficiência do sistema, ao obter-se uma remoção, quase, total das partículas de fumaça presente. Após o tempo de fornecimento de alta tensão, que durou cerca de 20 segundos, a fonte foi desligada e o sensor indicou o crescimento da concentração de particulados que atingiu seu nível de saturação.

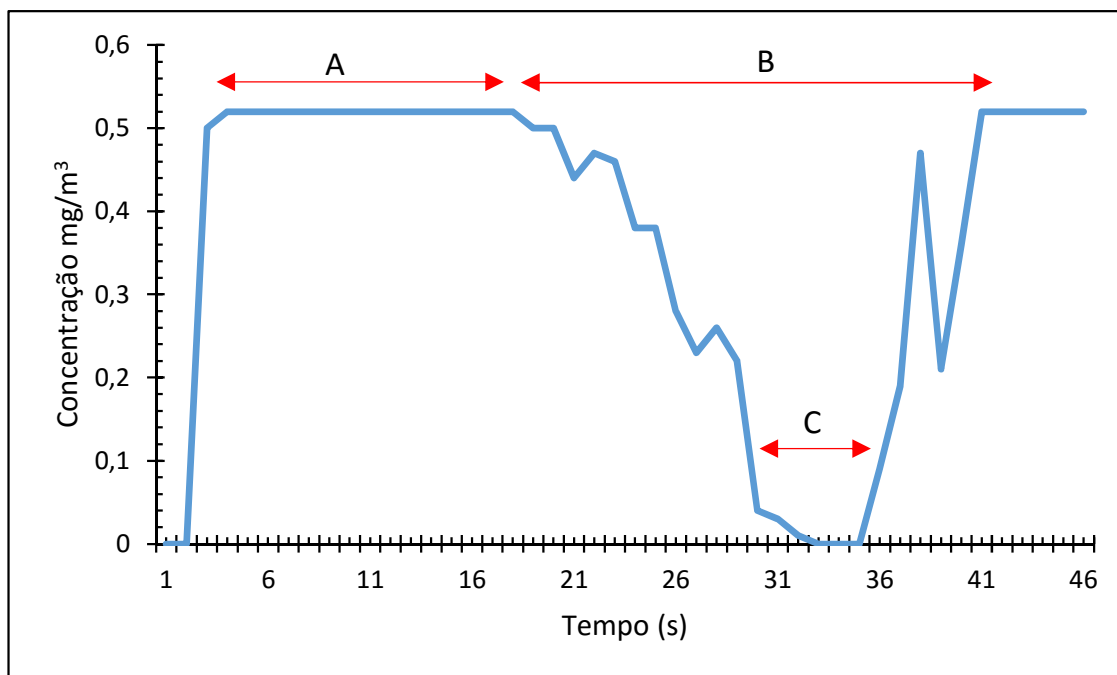


Figura 18 - Variação da concentração de partículas em função do tempo

O procedimento se repetiu no decorrer do experimento que durou cerca de 6 minutos. Na Figura 19 observa-se o comportamento da concentração no decorrer do tempo total do experimento, deixando em evidência os momentos em que o precipitador recebeu a alta tensão fornecida pela fonte.

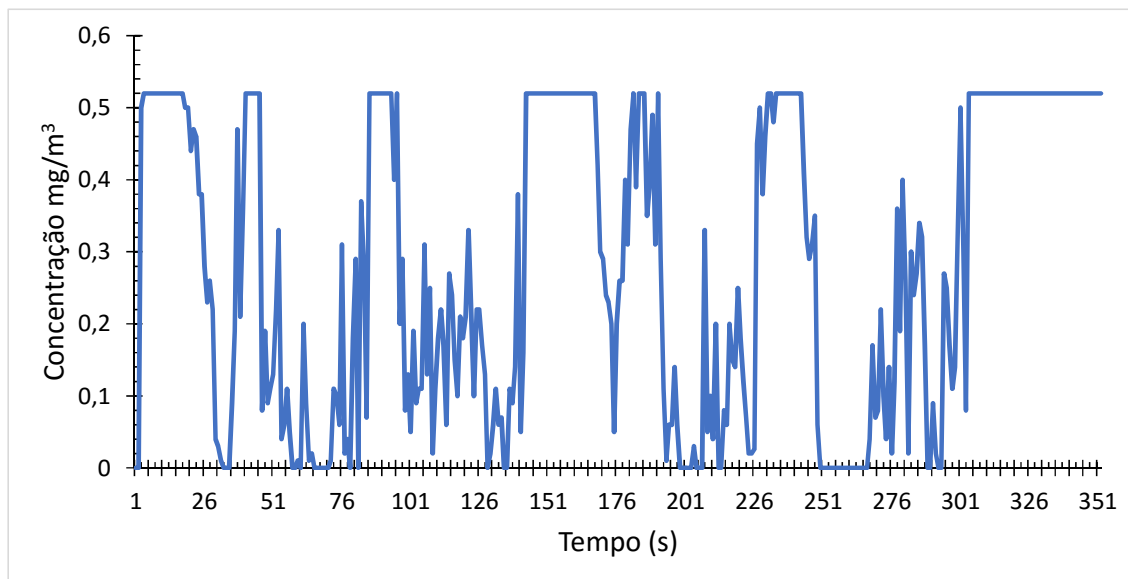


Figura 19 - Gráfico de leitura do sensor no tempo total.

A partir do experimento realizado, será construído um módulo didático em escala de bancada com a finalidade de utilização em aulas práticas. Nas Figura 20 e 21 encontra-se a representação da vista frontal e anterior da construção pretendida do módulo.

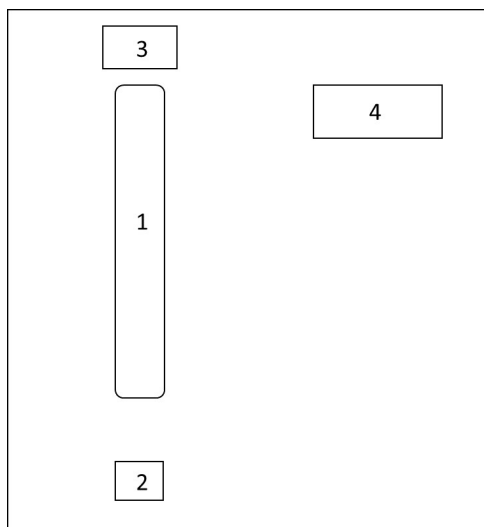


Figura 20 - Vista frontal do módulo de estudo para demonstração de precipitadores eletrostáticos

Na Figura 20 tem-se a seguinte disposição dos elementos que compõe o módulo didático: (1) coluna com eletrodos; (2) fonte de fumaça; (3) sensor de particulados e (4) painel LCD para visualizar os resultados.

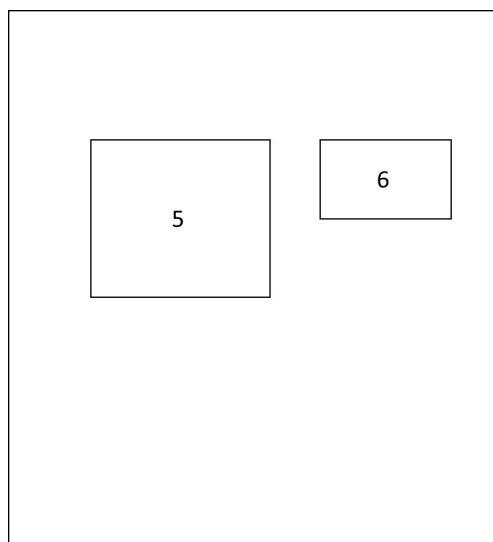


Figura 21 - Disposição dos elementos que compõe o sistema.

Na Figura 21 tem-se a seguinte disposição dos elementos que compõe o módulo didático: (5) circuito e fonte de 30kV; (6) placa arduino uno.

6 CONCLUSÃO

O estudo realizado cumpriu o objetivo de desenvolver um sistema de leitura da concentração de material particulado na saída de um precipitador eletrostático, em escala de bancada, ligado a uma fonte de alta tensão, fazendo uso de um sensor de partículas conectado a uma placa Arduino

Foi possível observar a eficiência de remoção de particulados durante o funcionamento do modulo de precipitação eletrostática.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, I. T. A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto. Dissertação de mestrado. 1999. 194f. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

ARDUINO. **Arduíno Uno**. Disponível em: <<http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>>. Acesso em 10 de setembro de 2015.

BORGES, J.; AVILA, M. Emissão de material particulado por misturas ternárias contendo biodiesel, óleo vegetal e etanol: Uma comparação com diesel convencional. Revista Brasileira de Energia, Vol. 15, No. 2, 2o Sem. 2009, pp.81-92

DONATO, Claudinei de Jesus. **SENSORES: Interpretando o Ambiente**: Cascavel, 2013. 25 slides, color.

FUENTES, Rodrigo Cardozo. **Apostila de Automação Industrial**. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2005. 31 p.

GIOPPO, Lucas Longen; HIGASKINO, Marcelo Massao Kataoka; COSTA, Ricardo Fantin da. **ROBÔ SEGUIDOR DE LINHA**. 2009. 36 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia da Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

HOEPERS, Rodrigo. **Veículo Autônomo Usando Arduíno**. 2012. 86 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência da Computação, Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2012.

KIM, S.; PARK, H. S.; Theoretical model of electrostatic precipitator performance for collecting particles, 2001.

LOPES, C. A. V. Seara da ciência. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2006. Disponível : <www.seara.ufc.br/queremosaber/fisica/oldfisica/respostas/qr0657.htm> . Acesso em 22 de junho 2016.

LOUREIRO, Antonio A.f.; NOGUEIRA, Jos´e Marcos S.; RUIZ, Linnyer Beatrys. **Redes de Sensores Sem Fio**. In: XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES, 11., 2003, Natal. Artigo. Natal, 2003. p. 179 - 225.

PARKER, K. R., Electrical operation of eletrostatic precipitators, Institution of Electrical Engineers, 2003.

PINTO, Marcos de Castro. Aplicação de arquitetura pedagógica em curso de robótica educacional com hardware livre. 2011. 158 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Informática, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

RESOLUÇÃO/CONAMA/N.º 003 de 28 de junho de 1990, disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>

RESOLUÇÃO/CONAMA/N.º 382 de 26 de dezembro de 2006, disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=520>

ROBERTS, Michael Mc. **ARDUINO BÁSICO**. São Paulo: Novatec, 2011. 456 p.

SILVEIRA, João Alexandre da. **Experimentos com o Arduino**. 2. ed. São Paulo: Ensino Profissional, 2013.

SOUZA M. B.; SALDIVA P. H.; POPE C. A. 3rd, Capelozzi V. L. Respiratory changes due to long-term exposure to urban levels of air pollution: a histopathologic study in humans. *Chest*. v. 113, n. 5, p. 1312-1318, 1998.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Particle pollution and your health**. Estados Unidos: US EPA, 2006. 2p. folheto informativo em arquivo pdf.

APÊNDICE A – CÓDIGO DE LEITURA DO SENSOR

```
/*  
Código adaptado de http://www.howmuchsnow.com/arduino/airquality/  
Standalone Sketch to use with a Arduino UNO and a  
Sharp Optical Dust Sensor GP2Y1010AU0F  
*/  
  
int measurePin = 0; // conecta o sensor de particulados ao pino A0  
int ledPower = 2; // conecta o pino do led 3 do sensor ao D2  
int samplingTime = 280; // tempo de amostragem  
int deltaTime = 40; //tempo de espera  
int sleepTime = 9680;  
float voMeasured = 0; //medição da tensão  
float calcVoltage = 0; //cálculo da voltagem  
float dustDensity = 0; //concentração de particulados  
  
void setup( ) {  
    Serial.begin(9600);  
    pinMode(ledPower,OUTPUT);  
}  
  
void loop ( ) {  
    digitalWrite(ledPower,LOW); // power on the LED  
    delayMicroseconds(samplingTime);  
    voMeasured = analogRead(measurePin); // leitura do valor do pó pelo sensor  
    delayMicroseconds(deltaTime);  
    digitalWrite(ledPower,HIGH); // desliga o LED  
    delayMicroseconds(sleepTime);  
}
```

```
// 0 - 5V mapeado de 0 – 1023 para valores inteiros
calcVoltage = voMeasured * (5.0 / 1024.0);

//equação para cálculo da concentração de particulados
dustDensity = 0.172 * calcVoltage - 0.0999;

Serial.print("Raw Signal Value (0-1023): ");
Serial.print(voMeasured);

Serial.print(" - Voltage: ");
Serial.print(calcVoltage);

Serial.print(" - Dust Density: ");
Serial.println(dustDensity); // unit: mg/m3

delay(1000);
}
```

ANEXO A – RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS DO SENSOR (DATASHEET)

GP2Y1010AU0F

■ Description

GP2Y1010AU0F is a dust sensor by optical sensing system.

An infrared emitting diode (IRED) and an phototransistor are diagonally arranged into this device.

It detects the reflected light of dust in air. Especially, it is effective to detect very fine particle like the cigarette smoke.

In addition it can distinguish smoke from house dust by pulse pattern of output voltage.

■ Features

1. Compact, thin package (46.0 × 30.0 × 17.6 mm)
2. Low consumption current (Icc: MAX. 20 mA)
3. The presence of dust can be detected by the photometry of only one pulse
4. Enable to distinguish smoke from house dust
5. Lead-free and RoHS directive compliant

Notice The content of data sheet is subject to change without prior notice.

GP2Y1010AU0F

Compact Optical Dust Sensor



■ Compliance

-
1. Compliant with RoHS directive (2002/95/EC)

■ Applications

1. Detecting of dust in the air.
2. Example: Air purifier, Air conditioner, Air monitor

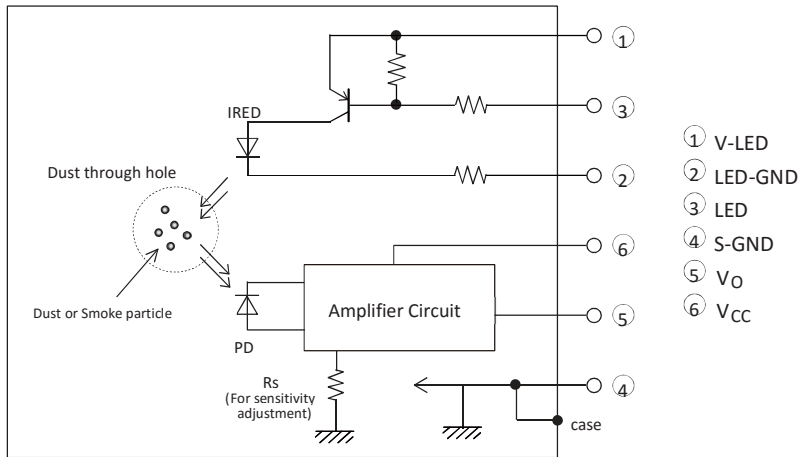
In the absence of confirmation by device specification sheets, SHARP takes no responsibility for any defects that may occur in equipment using any SHARP devices shown in catalogs, data books, etc. Contact SHARP in order to obtain the latest device specification sheets before using any SHARP device.

Sheet No.: E4-A01501EN

Date Dec. 1. 2006

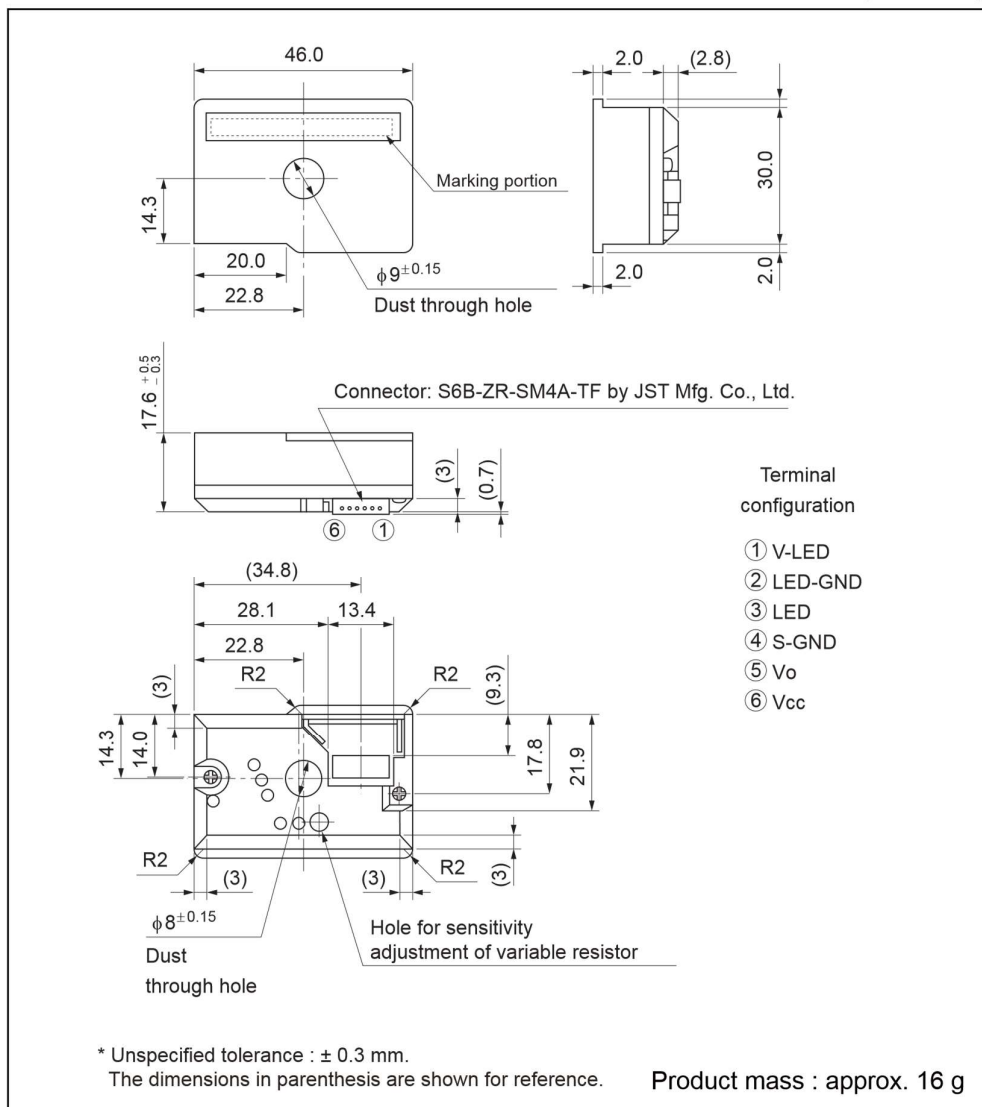
© SHARP Corporation

Internal schematic



■ Outline Dimensions

(Unit : mm)



GP2Y1010AU0F

Marking information



 : Die stamp marking

 : Ink stamp marking

Date code (2 digit)

1st digit	2nd digit
-----------	-----------

Year of production		Month of production	
A.D.	Mark	Month	Mark
2000	0	1	1
2001	1	2	2
2002	2	3	3
2003	3	4	4
2004	4	5	5
2005	5	6	6
2006	6	7	7
2007	7	8	8
2008	8	9	9
2009	9	10	X
2010	0	11	Y
:	:	12	Z

repeats in a 10 year cycle

Country of origin

Philippines

■ Absolute Maximum Ratings

($T_a=25^\circ\text{C}$)

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Supply voltage	V _{CC}	-0.3 to +7	V
*1 Input terminal voltage	V _{LED}	-0.3 to V _{CC}	V
Operating temperature	T _{opr}	-10 to +65	°C
Soldering temperature	T _{sol}	-20 to +80	°C

*1 Open drain drive input

■ Electro-optical Characteristics

($T_a=25^\circ\text{C}$, V_{CC}=5V)

Parameter	Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
Sensitivity	K	*1 *2 *3	0.35	0.5	0.65	V/(0.1mg/m ³)

Output voltage at no dust	VOC	*2 *3	0	0.9	1.5	V
Output voltage range	VOH	*2 *3 RL =4.7kΩ	3.4	-	-	V
LED terminal current	ILED	*2 LED terminal voltage = 0	-	10	20	mA
Consumption current	ICC	*2 R L =∞	-	11	20	mA

*1 Sensitivity is specified by the amount of output voltage change when dust density changes by 0.1 mg/m³. And the dust density for detection is a value of the density of cigarette (MILD SEVEN®) smoke measured by the digital dust monitor (P-5L2: manufactured by SHIBATA SCIENTIFIC TECHNOLOGY LTD.).

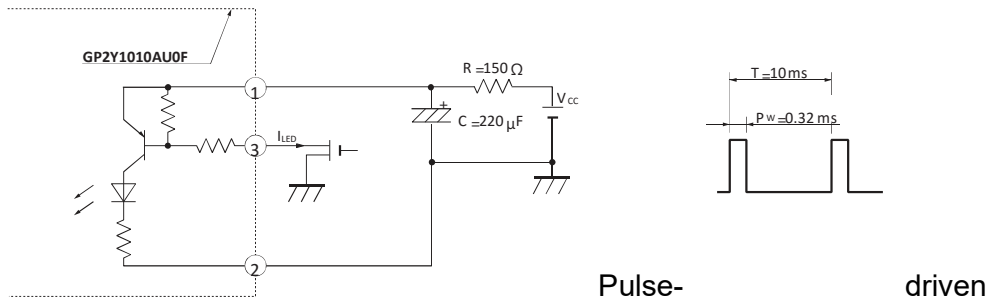
*2 Input condition is shown in Fig. 1

*3 Output sampling timing is shown in Fig. 2

■ Recommended input condition for LED input terminal

Parameter	Symbol	Value	Unit
Pulse Cycle	T	10 ± 1	ms
Pulse Width	PW	0.32 ± 0.02	ms
Operating Supply voltage	VCC	5 ± 0.5	V

Fig. 1 Input Condition for LED Input Terminal



wave form

Fig. 2 Sampling Timing of Output Pulse

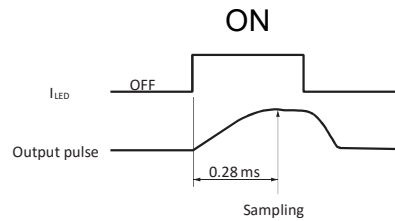
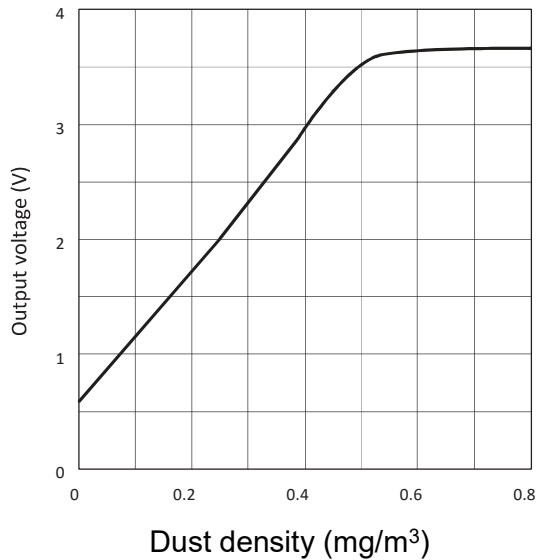


Fig. 3 Output Voltage vs. Dust Density



Remarks : Please be aware that all data in the graph are just for reference and are not for guarantee.

• **Notes**

- 1 Connection of case and GND

Case material use conductive resin as cover case {printed model No.} and metal {test terminal side} as bottom cover. The metal case connects with GND in sensor.

2 Cleaning

Please don't do cleaning, because there is a case that this device is not satisfied with its characteristics by cleaning.

3 Pulse input range

Please subject to recommendation as regard input condition for LED in order to keep reliability.

4 Dust adhesion

There is a case that this product does not detect the dust density correctly, since the dust adhered to the inside of the dust through hole may project into the detecting space which consist of emitter and detector light axis. Please take the structure and mechanism of the equipment into consideration to avoid the influence of adhered dust. And when the dust is adhered, please consider the maintenance such as vacuuming or blowing off the dust by air.

In addition, please pay attention to structure and placing location of the application to avoid any adhesive particle like oil, etc. to gets into the device. If it sticks to optical part, malfunction may occur.

5 Light output

In circuit designing, make allowance for the degradation of the light emitting diode output that results from long continuous operation. (50% degradation/5 years)

6 Sensitivity adjustment VR

VR for sensitivity adjustment is set up at shipping from sharp. Please do not touch the VR or Electro-optical characteristics specified on the specification will be invalid.

7 Resolution

Please do not disassemble the device such as removing tapping screw and so on. Even if the device is reassembled, it may not satisfy the specification.

8 Application to fire alarm

Please do not use this device for a fire alarm application. When using this device to application other than air purifying and equipment with air purifying function, please inform us before usage.

9 Noise influence

If the sensor is located close to noise generator (ex. Electric dust collector, etc.), the sensor output may be affected by leaded noise. On top of that noise from power supply line also may affect the sensor output. When desinging the system, please consider the effect from noise.

10 Vibration influence

The sensor may change its value under mechanical oscillation. Before usage, please make sure that the device works normally in the application.

11 Incident light influence

There is a case that the sensor output may be affected when outer-light comes through dust through hole on printed side. In order to avoid any influence from outer-light, please locate the printed side of sensor facing to inside of the application.

12 When inside of the sensor is moisturized, this product does not keep its proper function.

Please design the application so that moisturization of the sensor does not happen.

● Presence of ODC etc.

This product shall not contain the following materials.

And they are not used in the production process for this product.

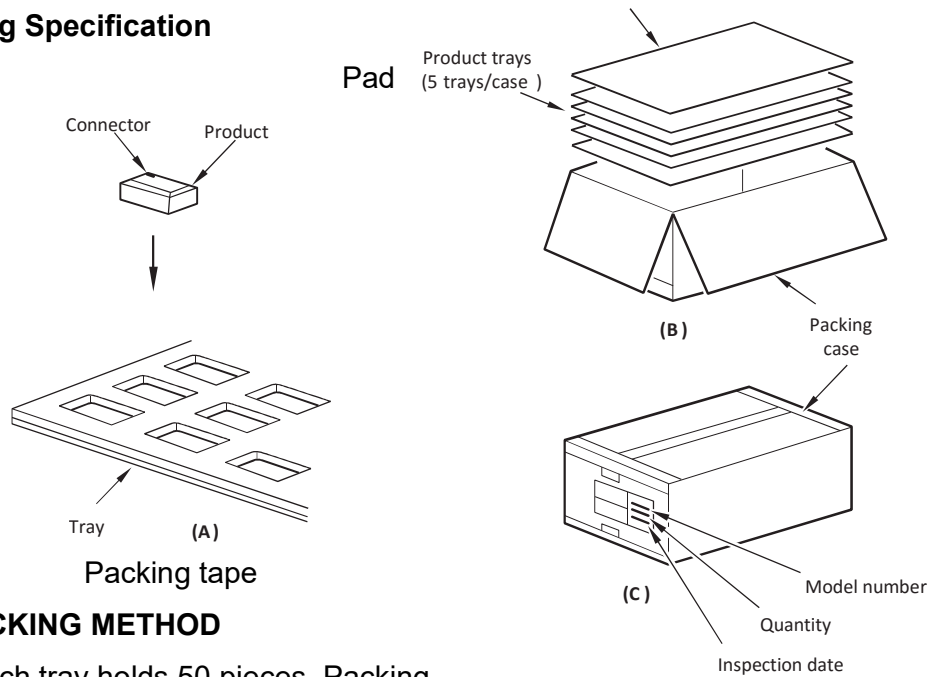
Regulation substances : CFCs, Halon, Carbon tetrachloride, 1.1.1-Trichloroethane (Methylchloroform)

Specific brominated flame retardants such as the PBB and PBDE are not used in this product at all.

This product shall not contain the following materials banned in the RoHS

Directive (2002/95/EC). • Lead, Mercury, Cadmium, Hexavalent chromium, Polybrominated biphenyls (PBB), Polybrominated diphenyl ethers (PBDE).

Packing Specification



PACKING METHOD

1. Each tray holds 50 pieces. Packing methods are shown in (A).
2. Each box holds 5 trays. Pads are added to top (B).
3. The box is sealed with packing tape. (C) shows the location of the Model number, Quantity, and Inspection date.
4. Weight is approximately 5.6 kg

■ Important Notices

· The circuit application examples in this publication are provided to explain representative applications of SHARP devices and are not intended to guarantee any circuit design or license any intellectual property rights. SHARP takes no responsibility for any problems related to any intellectual property right of a third party resulting from the use of SHARP's devices.

· Contact SHARP in order to obtain the latest device specification sheets before using any SHARP device.

SHARP reserves the right to make changes in the specifications, characteristics, data, materials, structure, and other contents described herein at any time without notice in order to improve design or reliability. Manufacturing locations are also subject to change without notice.

· Observe the following points when using any devices in this publication. SHARP takes no responsibility for damage caused by improper use of the devices which does not meet the conditions and absolute maximum ratings to be used specified in the relevant specification sheet nor meet the following conditions: (i) The devices in this publication are designed for use in general electronic equipment designs such as:

- Personal computers
- Office automation equipment
- Telecommunication equipment [terminal]
- Test and measurement equipment
- Industrial control
- Audio visual equipment
- Consumer electronics

(ii) Measures such as fail-safe function and redundant design should be taken to ensure reliability and safety when SHARP devices are used for or in connection with equipment that requires higher reliability such as:

- Transportation control and safety equipment (i.e., aircraft, trains, automobiles, etc.)
- Traffic signals
- Gas leakage sensor breakers
- Alarm equipment

--- Various safety devices, etc.

(iii) SHARP devices shall not be used for or in connection with equipment that requires an extremely high level of reliability and safety such as:

--- Space applications

--- Telecommunication equipment [trunk lines]

--- Nuclear power control equipment

--- Medical and other life support equipment (e.g., scuba).

· If the SHARP devices listed in this publication fall within the scope of strategic products described in the Foreign Exchange and Foreign Trade Law of Japan, it is necessary to obtain approval to export such SHARP devices.

· This publication is the proprietary product of SHARP and is copyrighted, with all rights reserved. Under the copyright laws, no part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, for any purpose, in whole or in part, without the express written permission of SHARP. Express written permission is also required before any use of this publication may be made by a third party.

· Contact and consult with a SHARP representative if there are any questions about the contents of this publication.