

# **Construção de um Fotômetro de LED para Medir Aerossóis Atmosféricos na Região Metropolitana de São Paulo**

Alvaro Simões, Brian Yurgel, Bruno Minucci, Cristhian Talacimon, Daiana Ayumi, Heitor Pilotto, Izabella Costa, Luca di Beo, Luis França, Mikael Marcondes, Muriel Galvão, Pamela Costa, Rafael Scatena, Raul Chiodi, Vinicio Martini, Vinicius Camargo

Disciplina de Física Experimental IV – segundo semestre de 2016

Profa. Eloisa Madeira Szanto

## **RESUMO**

O experimento tem como objetivo principal medir níveis de aerossóis atmosféricos em diferentes áreas da Região Metropolitana de São Paulo e assim mapear a variação da poluição atmosférica. Para isso, o aparato experimental utilizado será um fotômetro, um aparelho que mede intensidade luminosa, o qual será construído pelo grupo utilizando uma placa *Arduino UNO R3* e LEDs, baseando-se em um projeto encontrado no livro “*Atmospheric Monitoring with Arduino*” de Patrick di Justo e Emily Gertz. Os resultados finais serão comparados com os dados disponibilizados pela CETESB, verificando assim se o aparato experimental utilizado é eficiente em suas medições. Caso as medidas estejam de acordo, teremos um método simples, viável e relativamente barato de realizar tais pesquisas.

## INTRODUÇÃO E OBJETIVO

Aerossóis atmosféricos são partículas sólidas ou líquidas com dimensões inferiores à  $100\ \mu\text{m}$  que se encontram suspensas em um meio gasoso, no caso, o ar. Como exemplo de aerossóis líquidos podemos citar partículas que compõem as nuvens (partículas de água) e partículas proeminentes de desodorantes em *spray*, e como exemplo de aerossóis sólidos podemos citar as partículas que constituem fumaças e a poeira em geral. A produção de aerossóis e sua presença na atmosfera terrestre deve-se a fatores naturais e também a fatores antropogênicos, sendo evidente que as partículas de água ocorrem por um processo natural (o ciclo da água) e partículas providas de sprays sucedem de ações antropogênicas. Na figura 1, logo abaixo, é possível ver um esquema simples que representa os mecanismos de formação de aerossóis atmosféricos [1].



Figura 1: Representação esquemática dos mecanismos de produção e liberação de aerossóis atmosféricos

Atualmente, com a realização de diversas pesquisas, está claro que altos índices de aerossóis presentes na atmosfera causam diversos problemas de saúde, de alergias até enfermidades que levam a óbito, atingindo, principalmente, crianças e idosos. Com isso, se

faz necessário monitorar os níveis de aerossóis e também desenvolver novas técnicas para tal monitoramento [2].

Com a construção de um fotômetro de LED, utilizando fotodiodos que absorvem comprimento de onda por volta de 580 nm (LED vermelho) e 500 nm (LED verde), e uma placa *Arduino UNO R3* conectada a um computador para adquirir a tensão dos LEDs, pretende-se comparar a diferença na voltagem entre os dois LEDs utilizados, esperando que para níveis baixos de aerossóis atmosféricos essa diferença seja muito pequena (os dois comprimentos de onda que chegam estão em níveis próximos no fotômetro), e que seja significativamente maior para níveis altos de aerossóis atmosféricos. Isso ocorre porque no segundo caso, com o aumento de partículas suspensas, o menor comprimento de onda (correspondente à luz verde) sofrerá maior espalhamento e incidirá menos sobre o fotômetro [4]. Para se ter uma base de comparação, pretende-se utilizar o fotômetro para medir aerossóis atmosféricos perto dos locais de monitoramento da CETESB na Região Metropolitana de São Paulo e averiguar se as medidas do grupo são compatíveis com as realizadas pela CETESB para particulados MP10 (Partículas Inaláveis) e MP2,5 (Partículas Inaláveis Finas).

A Tabela 1 apresenta os locais de monitoramento da qualidade do ar feita pela rede automática da CETESB na Região Metropolitana de São Paulo cujas medidas são feitas através de radiação beta. (Veja apêndice para o endereço completo de cada estação de monitoramento da CETESB).

*Tabela 1 : Locais da Rede Automática CETESB*

<b>Rede Automática de Medição da Qualidade do Ar CETESB</b>		
Capão Redondo	Interlagos	Parelheiros
Carapicuíba	Itaim Paulista	Parque D.Pedro II
Cerqueira César	Marginal Tietê - Ponte dos Remédios	Pinheiros
Congonhas	Mauá	Santo André Capuava
Diadema	Mooca	Santo André - Paço Municipal
Guarulhos - Paço Municipal	Nossa Senhora do Ó	São Bernardo do Campo - V. Paulicéia
Guarulhos Pimentas	Osasco	São Caetano do Sul
Santana	Santo Amaro	Taboão da Serra

FONTE: CETESB (<http://ar.cetesb.sp.gov.br/configuracao-da-rede-automatica/>)

A Tabela 2 apresenta quais poluentes constituem os índices MP 2,5 e MP10 monitorados pela CETESB ao qual queremos comparar os dados do fotômetro.

Tabela 2: Características dos Poluentes MP 2,5 e MP10 Medidos pela CETESB

Fontes Características dos Poluentes Medidos pela Rede CETESB na Região Metropolitana de São Paulo		
Poluente	Características	Fontes Principais
Partículas Inaláveis Finas (MP2,5)	Partículas de material sólido ou líquido, suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc., que podem permanecer no ar e percorrer longas distâncias.	Processos de combustão (industrial, veículos automotores), aerossol secundário (formado na atmosfera) como sulfato e nitrato, entre outros.
Partículas Inaláveis (MP10) e Fumaça	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc.	Processos de combustão (indústria e veículos automotores), poeira ressuspensa, aerossol secundário (formado na atmosfera)

FONTE: Qualidade do Ar no Estado de São Paulo (2015) - Governo do Estado de São Paulo - Secretaria do Meio Ambiente CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

## FUNDAMENTOS TEÓRICOS

O LED (Light Emitting Diode) é um tipo de diodo que emite e absorve luz entre uma faixa de comprimentos de onda que pode ser determinada e depende das características internas do mesmo. À medida que o LED absorve uma onda eletromagnética com certo comprimento, uma corrente pode ser detectada em seus terminais e podemos relacioná-la com o comprimento de onda absorvido, caracterizada pela sensibilidade do LED. Um fotômetro é um instrumento que mede uma ou mais características da luz e utiliza um detector de fótons que, geralmente, monitora a intensidade da luz que passa através do seu filtro. Como dito anteriormente, LEDs geram uma corrente elétrica proporcional ao comprimento de onda absorvido ou seja, funcionam como *foto-diodos* [3]. Essas características permitem usar o LED tanto como filtro como detector de fótons na construção de um fotômetro. Ao medir a corrente em LEDs de cores diferentes seria possível determinar quanto daquele comprimento de onda, proveniente da luz solar, está passando pela atmosfera e chegando no instrumento. Um detector ideal iria detectar apenas uma gama muito pequena de comprimentos de onda, o que infelizmente não ocorre com um LED real.

A radiação solar é composta de um espectro contínuo que cobre dos raios gama às ondas de rádio, como mostrado na Figura 2. A radiação emitida pela fotosfera do Sol aproxima-se da emissão de um corpo negro de temperatura de 6000 K (linha pontilhada da Figura 2). A potência emissiva de um corpo negro (ou radiância espectral) depende de sua temperatura e comprimento de onda e é dada por:

$$B_{\lambda}(\lambda, T) = 2hc^2\lambda^{-5}/[e^{(hc/\lambda kT)} - 1] \quad (1)$$

Em que  $B_{\lambda}(\lambda, T)$  é a potência emitida por comprimento de onda,  $c$  é a velocidade da luz no vácuo,  $\lambda$  o comprimento de onda,  $h$  a constante de Planck,  $k_b$  a constante de Boltzman, e  $T$  a temperatura. A irradiância monocromática é definida como:

$$I_{\lambda} = \delta^4 E_{\lambda} / \delta[A \cdot \cos(\theta)] \delta\Omega \delta t \delta\lambda \quad (2)$$

Em que  $I_{\lambda}$  é a irradiância para o comprimento de onda  $\lambda$ ,  $dE_{\lambda}$  a quantidade de energia,  $dt$  o intervalo de tempo,  $d_{\lambda}$  o intervalo de comprimento de onda,  $d[A \cdot \cos(\theta)]$  a área em que a energia está sendo interceptada e  $d\Omega$  o ângulo sólido.

A Figura 2 apresenta a irradiância do Sol (dada pela eq. 1) por comprimento de onda, fora da atmosfera e ao nível do mar. As entradas na curva ao nível do mar mostram que moléculas como a água e o oxigênio bloqueiam certos comprimentos de onda da luz solar. Certas moléculas presentes na atmosfera como água e dióxido de carbono absorvem comprimentos de onda específicos. Ao medir esses “buracos” onde esses comprimentos de luz estão presentes pode-se obter uma boa estimativa de quanto dessas substâncias estão presentes na atmosfera.

Espalhamento é um processo pelo qual uma partícula no caminho de uma onda eletromagnética subtrai energia da onda e a irradia novamente em todas as direções. Na atmosfera, as partículas responsáveis pelo espalhamento possuem diferentes tamanhos como moléculas de gás ( $\sim 10^{-4} \mu m$ ), aerossóis ( $\sim 1 \mu m$ ), gotas d’água ( $\sim 10 \mu m$ ). Espalhamento feito mais de uma vez por muitas partículas é chamado espalhamento múltiplo. O espalhamento geralmente é acompanhado por absorção, que também remove energia do feixe de luz que atravessa o meio. Os gases que mais absorvem radiação são  $O_2$ ,  $O_3$ ,  $H_2O$  e  $CO_2$ . A quantidade de radiação que cada molécula irá absorver depende de sua estrutura molecular.

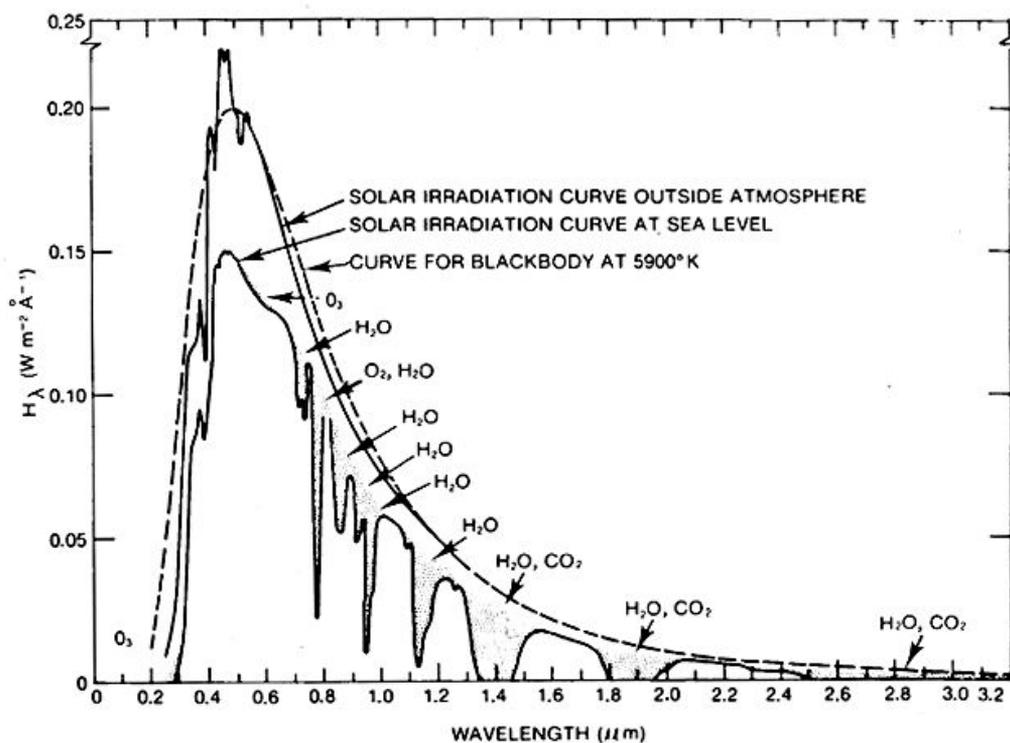


Figura 2: Radiação Solar ( $W/m^2$ ) dividida em comprimento de onda.

FONTE: [http://geoinfo.amu.edu.pl/WPK/geos/geo\\_images\\_A/FigA.2.gif](http://geoinfo.amu.edu.pl/WPK/geos/geo_images_A/FigA.2.gif)

Tabela 3: Comprimento de onda Absorvidos pelos Diferentes Gases da Atmosfera

Tipo de gás	comprimento de onda ( $\mu m$ )	Tipo de gás	comprimento de onda ( $\mu m$ )
H2O (partículas de água)	0,94	O2 (oxigênio)	0,76
	0,82		0,69
	0,72		0,63
	4,3	N2O (óxido nitroso)	4,06
	2,7		2,97
CO2 (dióxido de carbono)	2	CH4 (metano)	3,83
	1,6		3,31
	1,4	CO (monóxido de carbono)	2,37
	4,74		2,2
	3,3		1,66
O3 (ozônio)	1,58	CO (monóxido de carbono)	4,67
	1,27		2,34
	1,06		-

FONTE: "An Introduction to Atmospheric Radiation", Página 85.

## DESCRIÇÃO DO ARRANJO EXPERIMENTAL E EQUIPAMENTOS

Antes de usar o fotômetro de LED é preciso saber a quais comprimentos de onda os LEDs utilizados são sensíveis, ou seja, quais são os comprimentos de onda mais bem absorvidos por cada LED, informação geralmente não fornecida pelos fabricantes. Para isso é preciso construir um detector de sensibilidade do LED. Deve-se expor luz visível de todos os comprimentos de onda (entre 350 e 700 nm) em cada LED e medir a resposta da voltagem produzida. O LED que for mais sensível ao comprimento de onda é aquele que produz o maior pico de voltagem.

Para gerar luz visível de todos os comprimentos de onda utiliza-se um “LED de espectro total”. Esse é um tipo de LED chamado LED RGB que emite luz de cor vermelho, verde e azul e qualquer combinação dessas cores. A Tabela 4 apresenta os materiais necessários para construir o detector de sensibilidade do LED.

*Tabela 4: Materiais Necessários para Construir o Detector de Sensibilidade do LED*

Quantidade	Componente
1	LED de teste, 5mm
1	LED RGB, 5 mm
2	Resistência de 47 $\Omega$
1	Resistência de 62 $\Omega$
1	Arduino
1	Tela de cristal líquido
1	Caneta marcadora permanente

Para construir o detector de sensibilidade do LED é preciso primeiramente conectar o LED RGB ao Arduino, o catodo vermelho precisa da resistência de 62  $\Omega$ , e nos catodos de verde e azul, resistências de 47  $\Omega$ .

É preciso conectar a tela de cristal líquido no conector GND do arduino conectando as saídas VCC e DATA da tela às entradas 3.3 V do Arduino e a entrada 2V. É preciso então conectar o anodo do LED a ser testado na entrada 0 do Arduino e o catodo ao GND.

Com todas as conexões necessárias concluídas, deve-se programar a placa *Arduino UNO*

R3 para que o teste de sensibilidade seja feito. O código utilizado para tal tarefa será baseado em um código disponível para domínio público através do *GitHub* [5]. Quando o

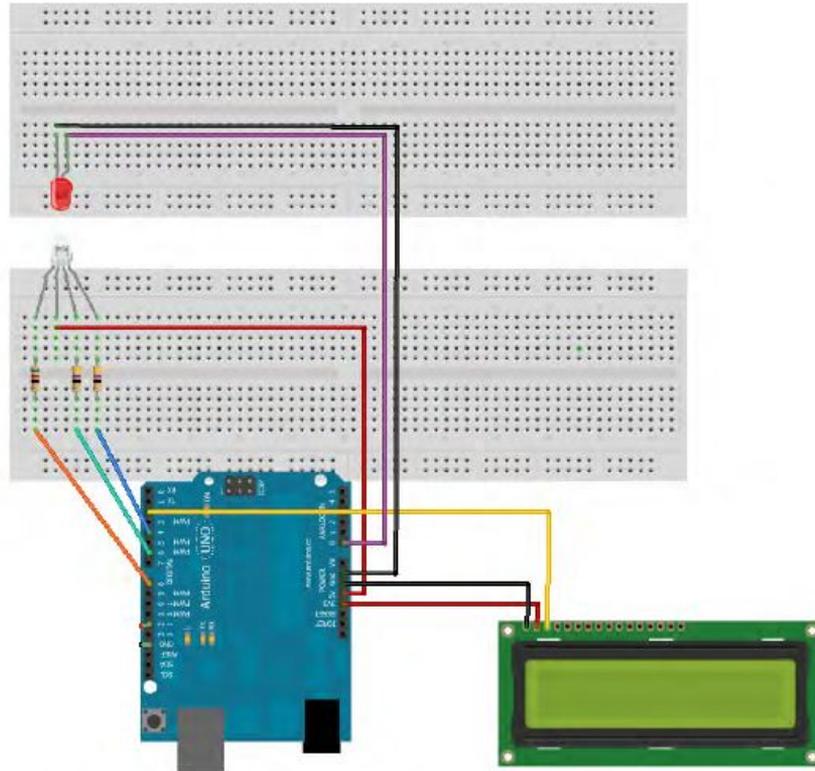


Figura 3: Esquema de construção do detector de sensibilidade do LED.

LED RGB começar a brilhar o monitor irá informar o comprimento de onda particular na faixa de 350-750 nm; a cada comprimento de onda o LED absorve luz e converte em um valor de tensão. Voltagens baixas significam que o LED não está absorvendo muita luz naquele comprimento de onda enquanto altas indicam que o LED é mais sensível a esse comprimento. Ao final do teste devemos anotar a tensão máxima produzida pelo LED e o comprimento de onda particular que causou aquela tensão.

Tabela 5: Comprimento de Onda de Emissão e Absorção de Diferentes Cores de LED

Fabricante	Cor	Emissão (nm)	Absorção (nm)
Jameco	Azul	430	429
Avago Tech	Azul	470	471
Avago Tech	Verde	525	498
Agilent	Verde	535	505
Siemens Corp.	Verde	565	507
Valuepro	Verde	590	537
Valuepro	Amarelo	590	552
Jameco	Amarelo	592	532
Valuepro	Amarelo	592	532
Valuepro	Amarelo	595	517
Valuepro	Amarelo	595	625
Valuepro	Laranja	620	580
Valuepro	Vermelho	634	555
Valuepro	Vermelho	635	534

Tabela 6: Materiais Necessários para Construir o Fotômetro de LED

Quantidade	Componente
1	LED vermelho, 5mm
1	LED azul, 5mm
1	LED verde, 5 mm
1	Arduino
1	Tela de cristal líquido

Após concluir o teste de sensibilidade para os LEDs que serão utilizados, iniciaremos a construção do fotômetro.

Para construir o fotômetro de LED é necessário conectar o LED ao Arduino como mostrado na Figura 4.

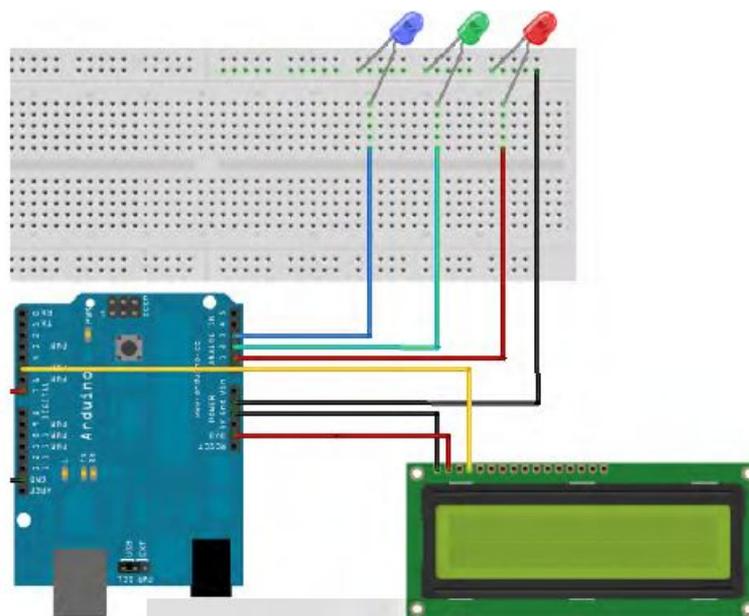


Figura 4: Disposição do Fotômetro de LED.

O próximo passo é calibrar o fotômetro de LED, já que, dependendo da posição do sol, a luz proveniente do mesmo viaja através de diferentes espessuras de atmosfera e por isso as medidas devem ser tomadas sempre no mesmo horário. Além disso, a posição do Sol para um mesmo horário varia ao longo do ano. Por esses motivos, a leitura do fotômetro de LED é afetada, tornando essencial a calibração do fotômetro.

Para isso devemos calcular  $m$  (massa de ar) que é dada pela equação 2 mostrada abaixo:

$$m = \frac{1}{\text{sen}(\theta)} \quad (3)$$

Em que  $\theta$  é o ângulo do Sol com o plano do horizonte. A Tabela 7 mostrada abaixo apresenta valores de ângulo que o Sol faz com o horizonte ao meio dia e massa de ar para diferentes dias do ano, evidenciando a necessidade da calibração do fotômetro [6].

Tabela 7: Massa de Ar para Diferentes Dias do Ano para Nova Iorque

Data	Ângulo do Sol a meio dia	Massa de Ar
20 Março 2013	49.4°	1.3170
21 Junho 2013	72.7°	1.0474
22 Setembro 2013	49.3°	1.3190
21 Dezembro 2013	25.9°	2.2894

Para calibrar o fotômetro de LED é necessário fazer medidas de 30 em 30 minutos em um dia bastante claro da madrugada até o meio dia ou do meio dia até o escurecer. É preciso medir a leitura do fotômetro e o ângulo do Sol com o horizonte. O ângulo do sol a cada momento será obtido através de site [7], onde basta informar as coordenadas do fotômetro e então é feito o cálculo do ângulo entre a posição do sol e a linha do horizonte para cada intervalo de tempo de 30 minutos.

Com esses dados é preciso fazer um ajuste de uma reta em que a variável  $y$  é o logaritmo da medida do fotômetro e  $x$  a massa de ar. O valor de intersecção da função com o eixo ordenada é a constante extraterrestre, característica intrínseca ao fotômetro.

Com base na constante extraterrestre podemos calcular a espessura óptica da atmosfera, EOA, que é definida por:

$$EOA = (\log(EC)/\log(\text{Medida do fotômetro de LED}))/m \quad (4)$$

Em que EC é a constante extraterrestre, e m a massa de ar. Uma vez que os dados são passados por essa fórmula eles serão invariantes quanto a altura do Sol no horizonte.

Com o fotômetro construído e calibrado, será feita a tomada de dados e para isso pretende-se se deslocar até regiões próximas às bases de monitoramento da CETESB e também em outros pontos da região metropolitana de São Paulo. Para compreender como os dados obtidos deverão ser tratados e o que pode-se extrair dos mesmos, será feita uma pesquisa para que no fim seja possível caracterizar regiões, condições climáticas e períodos do dia e quais os níveis de aerossóis das mesmas.

## MEDIDAS PRELIMINARES

No dia 23/09/2016 utilizamos um fotômetro com um LED RGB que absorve comprimento de onda tanto entre 630-640 nm, como 515-525 nm e 465-475 nm. Realizamos as medidas atrás do prédio do Pelletron no Instituto de Física da USP durante 14,1 minutos e obtivemos 846 dados de voltagem.

Tabela 8: Medidas de Voltagem

		Comprimento de Onda (nm)		
		630-640	515-525	465-475
Voltagem	Média (v)	1,5496	2,0493	2,2939
	Incerteza da Média (V)	0,0031	0,0036	0,0048

Portanto, com o sistema de aquisição de dados do Arduino, pudemos obter um dado de voltagem a cada segundo, o que nos permite obter uma incerteza bastante baixa para nossas medidas se fizemos medidas durante um intervalo de tempo longo (na quarta casa decimal, pelas essas medidas iniciais).

## **ANÁLISE DOS DADOS**

Após a aquisição e processamento dos dados, uma análise será realizada para verificar se os resultados são condizentes com o esperado. A pesquisa de qualidade do ar em São Paulo feita pela CETESB servirá de apoio para interpretação dos valores; caso eles não sejam compatíveis com a pesquisa, uma explicação plausível deve ser encontrada, ou em última instância, as medidas serão refeitas. Para garantir confiabilidade, as medidas serão realizadas em grande quantidade para reduzir a incerteza do valor médio, já que este diminui com  $\frac{1}{\sqrt{N}}$  sendo N, o número de medidas.

## **EQUIPE E DIVISÃO DE TAREFAS**

### **Construção:**

Rafael Scatena, Cristhian Talacimon, Izabella Costa, Heitor Pilotto, Bruno Minucci, Vinicius Camargo

### **Coleta e Análise de Dados:**

Brian Yurgel, Pamela Costa, Vinicio Martini, Luis França, Raul Chiodi, Álvaro Simões

### **Teórico**

Muriel Galvão, Mikael Marcondes, Daiana Ibuka, Luca di Beo

## **CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO DO PROJETO**

- 26/09 - 30/09: construir o fotômetro e concluir o aparato experimental, incluindo o desenvolvimento programacional da placa Arduino, para a aquisição de dados. Testar o funcionamento. Simultaneamente, haverá a pesquisa teórica e o aprofundamento sobre como será realizada a análise dos dados;
- 01/10 - 02/10: Calibrar o aparato e fazer a primeira medida;
- 13/10 - 12/11: Aquisição de dados. Esta função vai ser revezada entre os integrantes;
- 13 - 18/11: Escrever o relatório;
- 19 - 20/11: Revisão e considerações finais do relatório;
- 21/11: ENTREGA DO RELATÓRIO;

- 22 - 30/11: Produção do powerpoint em conjunto e discutir quais os pontos relevantes a serem apresentados;
- 01/12 - término do powerpoint;
- 05/12 Apresentação do Projeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422005000500025](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422005000500025) - Acessado em 23/09/2016.
- [2] “Hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares associadas à contaminação atmosférica no Município de São Paulo, Brasil” de Gouveia, Nelson; Umbelino, Clarice; Martins; Lourdes Conceição e Marcilio, Izabel Oliva. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/%0D/csp/v22n12/15.pdf> .
- [3] <http://www.if.ufrgs.br/mpef/mef004/20061/Cesar/SENSORES-Fotodiodo.html#Diodo3> - Acessado em 21/09/2016.
- [4] “Atmospheric Monitoring with Arduino”, Capítulo 6, páginas 69 e 70, Di Justo, Patrick; Gertz, Emily. Publicado por O’Reilly Media. Inc. - Novembro de 2012.
- [5] <https://github.com/ejgertz/AMWA> - Acessado em 23/09/2016.
- [6] “Atmospheric Monitoring with Arduino”, Capítulo 5, página 61, Di Justo, Patrick; Gertz, Emily. Publicado por O’Reilly Media. Inc. - Novembro de 2012.
- [7] [http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos\\_sun.php?lang=pt](http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=pt) - Acessado em 20/09/2016
- [7] Atmospheric Monitoring with Arduino - Building Simple Devices to Collect Data About the Environment, Patrick di Justo, Emily Gertz, O’Reilly Media, 2013
- [8] An Introduction to Atmospheric Radiation, Liou K. N., Academic Press, 2002
- [9] Atmospheric Chemistry and Physics - From Air Pollution to Climate Change, From Air Pollution to Climate Change, John H. Seinfeld, Spyros N. Pandis, John Wiley & Sons, Inc., 1998

[10] Qualidade do Ar no Estado de São Paulo (2015) - Governo do Estado de São Paulo - Secretaria do Meio Ambiente CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (<http://ar.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/37/2013/12/RQAR-2015.pdf>)

## **APÊNDICE**

Os endereços das estações de monitoramento da CETESB citadas na tabela 1, são, respectivamente, os seguintes:

Estrada de Itapequerica, 5859 – Capão Redondo, Av. Inocêncio Seráfico, esq. R. São Miguel – Carapicuíba, Av. Dr. Arnaldo, 725 – Faculdade de Saúde Pública – Sumaré, Al. Dos Tupiniquins, 1571 – E.M. Prof. João Carlos da S. Borges – Planalto Paulista, R. Benjamin Constant, 3 – Prefeitura Municipal de Diadema, R. João Bernardo Medeiros, 173 – Bom Clima, R. Imperial, 230 – Parque das Nações, R. Domingas Galleteri Blota, 171 – Campo Grande, R. Jaguar, 225 – Itaim Paulista, Av. Embaixador Macedo Soares, 12889, R. Vitorino Dell Antonia, 150 – E.E. Profª Terezinha Sartori – V. Noêmia, R. Bresser, 2341 – Administração Regional da Moóca e Centro Esportivo Municipal, R. Capitão José Amaral, 80 – E.E. Cacilda Becker – Vila Portuguesa, Av. dos Autonomistas s/nº – Esquina com R. São Mauricio – V. Quitaúna, Av. Paulo G. Reimberg, 2448 – E.E. Pres. Tancredo A. Neves – Jardim Novo, Horizonte, Parque D. Pedro II, s/nº – Palácio das Indústrias – Centro, Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 – CETESB – Alto de Pinheiros, R. Manágua, 2 – Posto Puericultura Alto Capuava – Pq. Capuava, Praça Quarto Centenário s/nº – Centro, R. Xavier de Toledo, 521 – Vila Paulicéia – E.M.E.B. Arlindo Ferreira, Av. Pres. Kennedy, 700 – Hospital Municipal de Emergências Albert Sabin, Av. Santos Dumont, 1019 – Parque de Material Aeronáutico – Santana, R. Padre José Maria, 355 – Centro Educacional. Esportivo Municipal Joerg Bruder, Pç. Nicola Vivilechio, 99 – Jardim Bom Tempo