

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE
CIÊNCIAS E MATEMÁTICA**

MARCOS ANTONIO PESSÔA LEITE

**FOTÔMETRO PORTÁTIL DE BAIXO CUSTO: EXPERIMENTAÇÃO E
CONTEXTUALIZAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA DA EDUCAÇÃO BÁSICA.**

**MACEIÓ – ALAGOAS
2014**

MARCOS ANTONIO PESSÔA LEITE

**FOTÔMETRO PORTÁTIL DE BAIXO CUSTO: EXPERIMENTAÇÃO E
CONTEXTUALIZAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA DA EDUCAÇÃO BÁSICA.**

Dissertação apresentada à banca examinadora como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática – Área de Concentração “Ensino de Química”, pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Federal de Alagoas.

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Costa de Oliveira

**MACEIÓ – ALAGOAS
2014**

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

L533f Leite, Marcos Antonio Pessôa.
Fotômetro portátil de baixo custo: experimentação e contextualização no ensino de química da educação básica / Marcos Antonio Pessôa Leite. – 2014.
105 f.

Orientador: Paulo César Costa de Oliveira.
Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Educação. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Maceió, 2014.

Bibliografia. f. 92-97.
Apêndice: f. 98-105.

1. Espectrofotometria. 2. Fotômetro – Baixo-custo. 3. Química – Estudo e ensino. 4. Química (Ensino médio). I. Título.

CDU: 37: 543.4

MARCOS ANTONIO PESSÔA LEITE

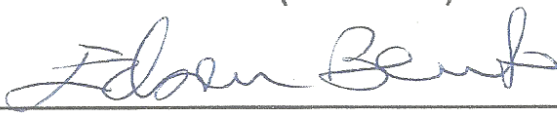
FOTÔMETRO PORTÁTIL DE BAIXO CUSTO: EXPERIMENTAÇÃO E
CONTEXTUALIZAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA DA EDUCAÇÃO BÁSICA.

Dissertação apresentada à banca examinadora como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática – Área de Concentração “Ensino de Química”, pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Federal de Alagoas, aprovada em 3 de junho de 2014.

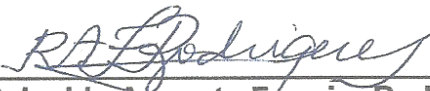
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Paulo César Costa de Oliveira
(Presidente)



Prof. Dr. Edson de Souza Bento
(Membro externo – PPGQB/UFAL)



Prof. Dr. Reinaldo Augusto Ferreira Rodrigues
(Membro externo – IQB/UFAL)



Prof.^a Dr.^a Anamelea de Campos Pinto
(Membro interno – PPGEICIM/UFAL)



Prof.^a Dr.^a Edma Carvalho Miranda
(Membro interno – PPGEICIM/UFAL)

Aos meus pais Antonio Ferreira Leite e Edileusa Pessôa Leite que com muito amor carinho e dedicação me apoiaram em todos os momentos de minha vida.

A minha esposa Sarah Jackelliny da Silva Rodrigues, pelo companheirismo, amor e apoio.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais por terem me ensinado, por meio de seus exemplos, os caminhos da dignidade, da ética e da sabedoria que orientam minha vida. A eles obrigada por tudo!

A minha esposa, Sarah Jackelliny da Silva Rodrigues pela paciência, compreensão, carinho, amor e companheirismo.

A meu irmão Marcelo Pessoa Leite, por sempre estar ao meu lado e me apoiar em tudo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Paulo César Costa de Oliveira, pela sua sabedoria e paciência na orientação deste trabalho. Obrigada professor por tudo, levarei adiante seus ensinamentos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática PPGECIM-UFAL, pela oportunidade concedida.

Aos professores do PPGECIM: Anamelea Campos, Elton Fireman e Jenner Bastos, pelos ensinamentos e contribuição ao enriquecimento profissional e pessoal.

Aos colegas do PPGECIM turma 2011 pela amizade, cumplicidade e companheirismo, durante essa caminhada.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, Muito Obrigado.

RESUMO

A experimentação vem sendo negligenciada na Educação Básica Brasileira isso se deve, dentre outros fatores, à falta de laboratórios e equipamentos nas escolas públicas, este fato prejudica os estudantes que deixam de adquirir conhecimentos importantes para seu desenvolvimento. Diante disso, a construção de equipamentos de laboratório de baixo custo surge como uma opção viável para introduzir a experimentação nas salas de aula do Ensino Médio. A experimentação e a contextualização no ensino de química favorecem a formação do cidadão, apresentando ao aluno uma concepção de Ciência como atividade humana em construção que leve em conta o papel social da Ciência. Desta forma, a espectrofotometria, método que determina a concentração de uma substância por meio da radiação eletromagnética, é uma boa maneira de contextualizar o ensino de Química e também favorecer a experimentação e a interdisciplinaridade nesta disciplina, mas para isso é necessário um espectrofotômetro, aparelho que possui um alto valor de compra no mercado. Neste trabalho é apresentada a construção de um fotômetro de baixo custo que permite realizar medidas qualitativas e quantitativas em vários comprimentos de onda na região do visível. Todos os materiais utilizados na construção do aparelho são de baixo custo e de fácil aquisição podendo qualquer professor de Química, da Educação Básica, construir em sua escola. Para avaliação do desempenho do instrumento desenvolvido foram preparadas soluções padrão de alaranjado de metila e realizadas análises dessas amostras. Elas também foram analisadas em um espectrofotômetro comercial da marca GEHAKA, modelo UV-380G, após realizadas as análises foi realizado um estudo comparativo entre os resultados obtidos e aplicando-se tratamentos estatísticos, verificou-se que esses resultados nos dois aparelhos não apresentam diferença significativa a nível de 95% de confiança. Por fim é apresentada uma unidade didática que aplica os conceitos de espectrofotometria em aulas experimentais de turmas do Ensino Médio.

Palavras-chave: Espectrofotometria. Fotômetro. Experimentação. Ensino Médio. Baixo custo.

ABSTRACT

The Experimentation has been neglected in Brazilian Basic Education this is due, among other factors, the lack of laboratories and equipment in public schools, this fact that affect students who fail to acquire important knowledge for its development. Therefore, the construction of low-cost laboratory apparatus emerges as a viable option to insert the experimentation in the high school classrooms. Experimentation and contextualization in teaching chemistry promote the citizen formation, by presenting for the student a conception of science as a human activity in construction that considers the social role of science. Thus, spectrophotometry, method that determines the concentration of a substance using the electromagnetic radiation, is a good way to contextualize the teaching of chemistry and also encouraging experimentation and interdisciplinary in this subject, but for this is necessary a spectrophotometer, a device that has a high market value. In this paper is presented the construction of a low-cost photometer which lets users make qualitative and quantitative measures at various wavelengths visible region. All materials used in the device construction are low-cost and can be easily acquired Basic Education chemistry teachers allowing. Build the device in their school. To evaluate the developed instrument performance, standard methyl orange solutions were prepared and it was conducted analysis of these samples. These samples were also analyzed in a commercial spectrophotometer, UV-GEHAKA model 380G. After the analyzes it was conducted a comparative study of the obtained results applying statistical methods, and it was found that the results from the two devices were not significantly different, at about 95% confidence level. Finally, a didactic unit that applies the concepts of spectrophotometry in high school experimental classes is presented.

Keywords: Spectrophotometry. Photometer , Experimentation, High school, Low-cost.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Questão ENEM 2011	21
Figura 2 – Análise da amostra de FeCl ₃ realizada por Curi (2006)	30
Figura 3 – Cromatogramas dos extratos de pimentões amarelos (1), verdes (2) e vermelhos (3).	31
Figura 4 – Materiais e reagentes convencionais utilizadas na análise qualitativa.	32
Figura 5 – Onda eletromagnética	33
Figura 6 – Espectro eletromagnético.....	34
Figura 7 – Absorção de energia por uma amostra	35
Figura 8 – Diminuição de um feixe de radiação por uma solução absorvente	35
Figura 9 – Perdas por reflexão e espalhamento.....	36
Figura 10 – Queimador de Bunsen	38
Figura 11 – Esquema dos principais dispositivos em um espectrofotômetro	39
Figura 12 - Colorímetro Fotoelétrico C-200.....	41
Figura 13 – Espectrofotômetro UV-2000 A	41
Figura 14 – Esquema do fotômetro desenvolvido por <i>Gaião et al.</i> (2005).	43
Figura 15 – Fotômetro NIR desenvolvido por Chagas (2006)	43
Figura 16 – Espectrofotômetro desenvolvido por Vêras Neto (2008).....	44
Figura 17 – Fotômetro desenvolvido por Nascimento (2008).....	45
Figura 18 – Instrumento desenvolvido por Lima (2009).	45
Figura 19 – Fotômetro desenvolvido por Diniz (2010).....	46
Figura 20 – Espectrofotômetro desenvolvido por Knagge e Raftery (2002).....	47
Figura 21 – Fotômetro desenvolvido por Mota (2010).....	48
Figura 22 – Instrumento desenvolvido por Silva (2011)	49
Figura 23 – Esquema dos principais dispositivos do fotômetro desenvolvido	58
Figura 24 – Fonte chaveada.....	58
Figura 25 – Regulador de tensão CI7808	59
Figura 26 – LED	59
Figura 27 – Conector, LED , suporte para LED.....	60
Figura 28 – LED conectado.....	60
Figura 29 – Porta recipiente e recipiente para amostra.....	61

Figura 30 – LDR	61
Figura 31 – Potenciômetros 10KΩ e 1KΩ respectivamente	62
Figura 32 – Multímetro digital	62
Figura 33 – Circuito elétrico.....	63
Figura 34 – Caixa de PVC.....	63
Figura 35 – Fixação dos componentes na tampa.....	64
Figura 36 – Montagem do circuito 1	64
Figura 37 – Montagem do circuito 2	65
Figura 38 – Imagem interna do fotômetro	65
Figura 39 – Imagem externa do fotômetro	66
Figura 40 - Fotômetro desenvolvido com todos os componentes	66
Figura 41 – a) balança analítica ; b) espectrofotômetro UV-380G; c) purificador.....	68
Figura 42 – Soluções padrão	69
Figura 43 – Curva analítica mínimos quadrados do alaranjado de metila.....	70
Figura 44 – Espectrofotômetro UV-380G e fotômetro desenvolvido	75
Figura 45 – Espectro de absorção alaranjado de metila medido varredura utilizando o espectrofotômetro UV 380G.....	76
Figura 46 – Curva analítica mínimos quadrados do alaranjado de metila espectrofotômetro UV-380G.....	77
Figura 47 – Resíduos regressão linear dos mínimos quadrados do alaranjado de metila espectrofotômetro UV-380G	77
Figura 48 – Comparação entre as curvas analíticas	77
Figura 49 – Comparação linearidade entre os resultados das concentrações obtidas a partir das equações das retas dos fotômetros desenvolvido e comercial.....	78
Figura 50 – Comparação concentrações obtidas	80
Figura 51 – Disco de cores, com as cores complementares e intervalos de comprimento de onda.....	85

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – O espectro visível	39
Quadro 2 – Lista de Custos do instrumento desenvolvido	67
Quadro 3 – Resultado análise de regressão linear software Microsoft Excel 2007...	71
Quadro 4 – Resultado teste F software Microsoft Excel 2007.....	72
Quadro 5 – Resultado teste T <i>student</i> software Microsoft Excel 2007	74
Quadro 6 – Resultado teste F entre as concentrações obtidas a partir das equações das curvas analíticas software microsoft excel 2007.....	78
Quadro 7 – Comparação entre as concentrações obtidas a partir das equações das curvas analíticas.....	79
Quadro 8 – Resultado teste T entre as concentrações das amostras.....	80
Quadro 9 – Quadro sintético das atividades.....	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Curva analítica do alaranjado de metila para $n=3 \pm DP$	70
Tabela 2 – Resultados do estudo da precisão (Repetitividade)	71
Tabela 3 – Resultados do estudo da precisão intermediária $n=3 \pm DP$	72
Tabela 4 – Resultados do estudo da precisão instrumental	73
Tabela 5 – Resultados da exatidão para cinco níveis de concentrações diferentes para $n=3 \pm DP$	74
Tabela 6 – Resultado varredura alaranjado de metila espectrofotômetro UV – 380G	75
Tabela 7 – Curva analítica do alaranjado de metila para $n=3 \pm DP$	76
Tabela 8 – Concentração teórica e concentrações obtidas a partir das equações das retas dos fotômetros desenvolvido e comercial	78
Tabela 9 – Resultados análises de amostras	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRAPEC	Associação Brasileira de Pesquisa e Educação em Ciências
ANOVA	Análise de variância
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CMD	Concentração média determinada
CTSA	Ciência, tecnologia, sociedade e ambiente
CV	Coeficiente de variação
DP	Desvio padrão
DPR	Desvio padrão relativo
ENEM	Exame Nacional do Ensino Médio
ENEQ	Encontro Nacional de Ensino de Química
ENPEC	Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Instrumental
LD	Limite de detecção
LDR	Resistor Dependente de Luz
LED	Diodo Emissor de Luz
LQ	Limite de quantificação
OCNEM	Orientações Curriculares para o Ensino Médio
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais

PCN+	Orientações Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio
PCNEM	Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio
PIC	Controlador de Interrupção Programável
QNESEC	Química Nova na Escola
SBQ	Sociedade Brasileira de Química

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	19
2.1	Objetivo geral	19
2.2	Objetivos específicos	19
3	JUSTIFICATIVA	20
4	REFERENCIAL TEÓRICO	24
4.1	Experimentação e contextualização do ensino de Química	24
4.2	Química Analítica como ferramenta para experimentação no ensino de Química na Educação Básica	28
4.3	Fundamentos da Radiação Eletromagnética	32
4.3.1	Entendendo a radiação eletromagnética	32
4.3.2	A interação da radiação eletromagnética com a matéria.....	34
4.3.3	Absorção da radiação e a concentração	35
4.4	Espectrofotometria	37
4.4.1	A História da espectroscopia	37
4.4.2	Espectrofotometria: usos e conceitos	38
4.4.3	Instrumentação para a espectrofotometria	39
4.5	Fotômetros e Espectrofotômetros: Alternativas de baixo custo aos instrumentos comerciais.	40
4.5.1	A Construção de fotômetros e espectrofotômetros de baixo custo para fins experimentais.	41
4.5.2	A Construção de fotômetros e espectrofotômetros de baixo custo, voltados para o ensino de química:	46

4.6	Validação analítica e tratamentos estatísticos: Fundamentos e métodos	49
4.6.1	Figuras de mérito.....	50
4.6.2	Tratamentos estatísticos.....	54
4.6.2.1	Parâmetros estatísticos	54
4.6.2.2	Teste <i>t</i> de Student	55
4.6.2.3	Teste F	56
4.6.3	Utilização de planilhas eletrônicas	56
5	O FOTÔMETRO DESENVOLVIDO	58
5.1	Dispositivos do fotômetro	58
5.1.1	Descrição da fonte de alimentação	58
5.1.2	Descrição da fonte de radiação	59
5.1.3	Recipiente para amostra	60
5.1.4	Descrição do transdutor de radiação.....	61
5.1.5	Descrição do dispositivo de leitura	62
5.2	Descrição do circuito elétrico	62
5.3	Descrição da construção do fotômetro	63
5.4	Custo do instrumento	66
6	AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO FOTÔMETRO DESENVOLVIDO	68
6.1	Parte experimental	68
6.1.1	Reagentes	68
6.1.2	Equipamentos	68
6.1.3	Soluções padrão	68
6.2	Avaliação das Figuras de Mérito	69
6.2.1	Avaliação da linearidade entre curvas analíticas	69
6.2.2	Limites de detecção (LD) e quantificação (LQ)	71

6.2.3	Avaliação da Precisão	71
6.2.3.1	Repetitividade	71
6.2.3.2	Precisão intermediária.....	72
6.2.3.3	Precisão instrumental.....	73
6.2.3.4	Avaliação da exatidão	73
6.3	Comparação entre os Resultados: utilizando o fotômetro desenvolvido e o Espectrofotômetro comercial GEHAKA UV-380G	75
6.3.1	Comparação da linearidade entre os equipamentos	76
6.3.2	Comparação de resultados da análise de amostras entre o fotômetro desenvolvido e o espectrofotômetro comercial	79
7	PROPOSTA DE UNIDADE DIDÁTICA PARA O ENSINO DE QUÍMICA UTILIZANDO O FOTÔMETRO DESENVOLVIDO.....	82
7.1	Unidade Didática: Espectrofotometria de baixo custo para o Ensino Médio	83
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
8.1	Perspectivas de trabalhos futuros.....	91
	REFERÊNCIAS.....	92
	APÊNDICE	98

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, tem se considerado que o ensino de Química deve estar relacionado à formação do cidadão, apresentando ao aluno uma concepção de Ciência como atividade humana em construção que leve em conta o papel social da mesma.

Trabalhos relatando pesquisas que apontam a experimentação como forma de promover a contextualização, têm estado presentes em eventos na área de pesquisa em Ensino de Ciências e Ensino de Química, como no Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC) e o Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ) e nas publicações dos periódicos da Associação Brasileira de Pesquisa e Educação em Ciências, tais como revista da Abrapec e Química Nova na Escola (Qnesc) da Sociedade Brasileira de Química (SBQ), principalmente após a publicação dos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM).

Com relação à experimentação, muitos estudos tratam do uso de materiais de baixo custo e fácil aquisição para a construção de instrumentos que podem ser usados para análise química de materiais, como por exemplo, espectrofotômetros.

Não se trata de utilizar sucata ou materiais reciclados ou de obrigar professores a fazerem seus próprios equipamentos, repassando para eles a obrigação, que seria do Estado, de suprir as escolas de instrumentos, mas sim de mostrar mais uma opção para melhorar a experimentação na escola básica. É importante ressaltar que a construção de instrumentos de baixo custo para o ensino de Química é algo realizado também em países desenvolvidos, pois esta pode ser uma atividade que, se realizada em conjunto com os alunos, pode estimular ainda mais o interesse deles pelo estudo da Química. Por ser um equipamento com um alto custo de compra, e por sua importância na análise química, a construção de fotômetros e espectrofotômetros com materiais de baixo custo tem sido alvo de pesquisas acadêmicas em toda parte do mundo.

Parte desse interesse científico nos espectrofotômetros se deve ao fato de que o ensino da Espectrofotometria no Ensino Médio pode, além de levar a experimentação às salas de aula, estimular o interesse dos estudantes pela Química por meio da contextualização do conteúdo, uma vez que por meio do estudo dessa matéria pode-se entender o uso da Química em diversos aparelhos utilizados no

cotidiano e promover a interdisciplinaridade dos conteúdos, principalmente com a Física.

Dessa forma, este trabalho descreve a elaboração e construção de um fotômetro com materiais de baixo custo e fácil aquisição, e apresenta uma sequência didática direcionada ao ensino de espectrofotometria na escola básica.

Sendo assim, este trabalho está assim organizado.

Seção 1 – Introdução: contextualiza este trabalho discriminando o tema da pesquisa. Apresenta o problema e a hipótese que será trabalhada.

Seção 2 – Apresenta objetivos gerais e específicos da pesquisa.

Seção 3 – Apresenta a justificativa da pesquisa.

Seção 4 – Referencial teórico: apresenta os conceitos necessários para a compreensão do tema desta pesquisa: experimentação e contextualização do ensino de Química, Química Analítica como ferramenta para experimentação no ensino de Química na Educação Básica, a construção de fotômetros e espectrofotômetros de baixo custo, voltados para o ensino de Química. Conceitua radiação eletromagnética e sua interação com a matéria e a aplicação desses conceitos para a instrumentação analítica “espectrofotometria”.

Seção 5 – O fotômetro desenvolvido: mostra as etapas do desenvolvimento do fotômetro de baixo custo e os materiais utilizados.

Seção 6 – Avaliação do desempenho do fotômetro desenvolvido: São apresentados os testes de validação e calibração do instrumento desenvolvido, comparando-se os resultados com um instrumento comercial.

Seção 7 – Proposta de unidade didática para o ensino de Química utilizando o fotômetro desenvolvido: Apresenta-se uma unidade didática aplicando a espectrofotometria para o ensino médio.

Seção 8 – Considerações finais: São feitas as conclusões da pesquisa realizada, as considerações finais e as propostas de pesquisas futuras.

- **Descrição do Problema**

A Química como componente curricular no Ensino Médio, vem sendo trabalhada de forma errônea e equivocada. A maioria das escolas públicas não dispõe de laboratório didático e as aulas de Química vêm se resumindo a resoluções de exercícios de forma mecânica e descontextualizada. Gonçalves (2005) nos mostra que as atividades experimentais na Educação Básica são uma raridade,

principalmente nas instituições públicas. Geralmente, as tentativas de proporcionar o desenvolvimento dessas atividades fracassam e isso está relacionado com outra característica do discurso dos professores que é a aclamação por equipamentos, vidrarias e reagentes convencionais para realizar experimentos.

Essa falta de experimentação e de laboratórios nas escolas prejudica principalmente os alunos do Ensino Médio, pois gera neles um desinteresse pelas Ciências, o que os leva a desconsiderar profissões que façam uso delas no futuro. Além disso, eles precisarão prestar exames para ingressar nas universidades, pois questões que exigem conhecimento sobre experimentação já fazem parte do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), que hoje é um dos principais meios de ingressar no Ensino Superior no Brasil.

Diante desses fatos e da necessidade de romper com uma visão que aprecia um laboratório escolar com condições de infraestrutura convencionais, surge uma alternativa que é a utilização de materiais e reagentes de baixo custo e fácil aquisição, ou simplesmente alternativos.

Sabendo-se da importância da Espectrofotometria como uma ferramenta que pode contribuir para a contextualização das atividades experimentais nas aulas de Química na Educação Básica, este estudo inicia-se com a seguinte pergunta: É possível desenvolver um fotômetro com matérias de baixo custo, para o ensino de Química na Educação Básica?

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um fotômetro portátil, com materiais de baixo custo e de fácil aquisição, para ser utilizado em aulas experimentais promovendo a contextualização do ensino de Química na Educação Básica.

2.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver o circuito eletrônico para o fotômetro;
- Utilizar materiais de baixo custo e fácil aquisição, para que qualquer professor de Química da Educação Básica possa replicar o instrumento, em qualquer município.
- Desenvolver um mecanismo para realizar análises qualitativas e quantitativas em diversas faixas de comprimento de onda;
- Comparar os resultados obtidos com o instrumento desenvolvido, com espectrofotômetros comerciais.
- Desenvolver uma unidade didática para a aplicação da espectrofotometria em turmas do ensino médio.

3 JUSTIFICATIVA

Na visão de Cachapuz, Praia e Jorge (2004), as pessoas que têm a responsabilidade de elaborar os currículos da Educação Básica, ainda não levaram a sério que o eventual entusiasmo dos alunos por estudar Ciências não ocorre naturalmente nem inevitavelmente, como que por contágio, dos sucessos científicos e tecnológicos. O caráter acadêmico e não experimental que marca os currículos de Ciências e o seu ensino na Educação Básica é, porventura, o maior responsável pelo desinteresse dos jovens alunos por estudos de Ciências. A Ciência que se legitima nos currículos está desligada do mundo a que, diz respeito.

Diante desse fato, verifica-se a necessidade de melhoramento das aulas de Química nas escolas públicas, onde o seu ensino tem utilizado o livro didático como principal instrumento pedagógico. Referente à utilização do livro didático, Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2007) nos dizem que ainda é consenso que o livro didático prevalece na maioria das salas de aula como principal instrumento de trabalho do professor, dando embasamento à prática docente. Sendo ou não utilizado pelos alunos, mas é seguramente a principal referência da grande maioria dos professores.

Sendo assim, propomos dentro de uma perspectiva de ensino em relação à ciência, tecnologia, sociedade e ambiente (CTSA), desenvolver um fotômetro portátil, com materiais de baixo custo e fácil aquisição, para experimentação e contextualização do ensino de Química, na Educação Básica.

No que diz respeito ao uso da espectrofotometria no Ensino Médio, experiências internacionais mostram sua viabilidade. Na Inglaterra, a *Royal Society of Chemistry* com o projeto "*Chemistry's Spectroscopy in a Suitcase*", que leva espectrofotômetros portáteis dos laboratórios das universidades para escolas de Ensino Médio, e tem como um dos objetivos estimular o interesse dos alunos pela Química e levá-los a conhecer e considerar a carreira de cientista, tem mostrado que essa experiência não só aumentou o interesse dos alunos pela matéria, mas também o dos professores.

De acordo com os idealizadores do projeto, a introdução da espectrofotometria nas escolas, mostrou não só um grande entusiasmo e engajamento dos alunos com as experiências, mas uma organização de 95 (noventa e cinco) professores participantes, que estão espalhados por diferentes regiões do

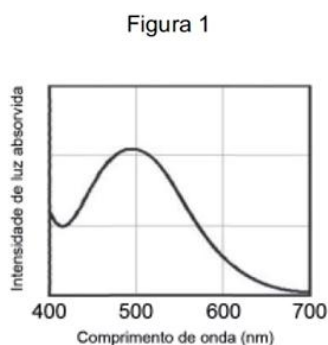
Reino Unido. Organizados em rede eles trocam experiências e modelos de experimentos a serem realizados. Segundo os pesquisadores, as experiências encorajaram os estudantes a questionarem e refletirem sobre como a ciência funciona (ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY, 2013).

No Brasil, o aumento desse tema nas salas de aula do Ensino Médio também é uma tendência, como mostra o ENEM, que na prova de Ciências da Natureza e suas Tecnologias do ano de 2011 incluiu uma questão que aborda a espectrofotometria.

Figura 1 – Questão ENEM 2011

QUESTÃO 68

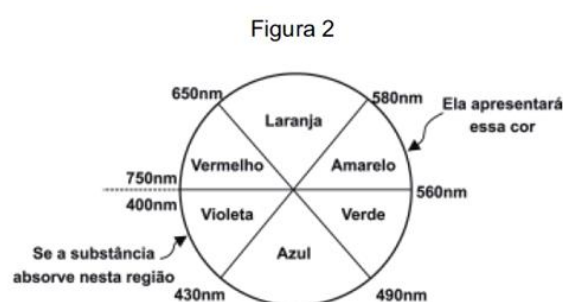
Para que uma substância seja colorida ela deve absorver luz na região do visível. Quando uma amostra absorve luz visível, a cor que percebemos é a soma das cores restantes que são refletidas ou transmitidas pelo objeto. A Figura 1 mostra o espectro de absorção para uma substância e é possível observar que há um comprimento de onda em que a intensidade de absorção é máxima. Um observador pode prever a cor dessa substância pelo uso da roda de cores (Figura 2): o comprimento de onda correspondente à cor do objeto é encontrado no lado oposto ao comprimento de onda da absorção máxima.



Fonte: Disponível em:

<http://download.inep.gov.br/educacao_basica/enem/provas/2011/02_AMARELO_GAB.pdf>

Esta questão está de acordo com a matriz de referência do ENEM, a qual relaciona as competências e habilidades que serão exigidas dos estudantes nas provas. A competência de área seis diz que o estudante deve “apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações-problema, interpretar, avaliar, ou planejar intervenções científico-tecnológicas” (BRASIL, 2011, p. 7). Dentro dessa competência, o aluno deve ter as seguintes habilidades, habilidade 21, “utilizar leis Física e/ou Químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos



Brown, T. Química a Ciência Central. 2005 (adaptado).

Qual a cor da substância que deu origem ao espectro da Figura 1?

- A Azul.
- B Verde.
- C Violeta.
- D Laranja.
- E Vermelho.

no contexto da termodinâmica e do eletromagnetismo” e habilidade 22, “compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas e ambientais” (BRASIL, 2011, p.7).

Observa-se que a habilidade 22 diz respeito diretamente à espectrofotometria e à necessidade do uso de espectrofotômetros nas escolas, além do estudo desse tema, também estão de acordo com as Orientações Curriculares para o Ensino Médio (OCNEM), que diz que:

A maioria dos adolescentes já deve ter se perguntado por que o céu é azul? Como as informações são transportadas pelas ondas de rádio? Por que as coisas possuem cores diferentes? Como se forma o arco-íris? Buscar respostas para essas perguntas contribui para o aprendizado em diversos aspectos. Ao trazer fenômenos do cotidiano dos alunos, o professor pode suscitar suas concepções de mundo sobre o assunto. (BRASIL, 2006, p. 61)

Entre as competências relacionadas nas Orientações Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCN+) em Ciências da Natureza e suas Tecnologias está:

Conhecer modelos físicos microscópicos para adquirir uma compreensão mais profunda dos fenômenos e utilizá-los na análise de situações problema, por exemplo, utilizar modelos microscópicos do calor para explicar as propriedades térmicas dos materiais ou, ainda, modelos da constituição da matéria para explicar a absorção de luz e as cores dos objetos. (BRASIL, 2002, p.63)

Apesar desta competência, estar relacionada ao ensino de Física, o uso da espectrofotometria no ensino de Química pode levar a interdisciplinaridade, mostrando a utilização prática dos princípios da absorção da luz pela matéria.

Ora, com a espectrofotometria, pode-se demonstrar o funcionamento de vários aparelhos que são vistos com certa frequência no cotidiano ou na TV, como, por exemplo, o uso de luzes fosforescentes para identificar fraudes em dinheiro ou documentos. O espectrofotômetro é o carro chefe dos laboratórios modernos, em particular, a espectrofotometria UV/visível é o principal método utilizado na maioria dos laboratórios, em diversas análises como, por exemplo, análise de composto orgânicos e inorgânicos, em uma ampla gama de processos como identificação de ácidos nucleicos e proteínas, alimentos, produtos farmacêuticos e fertilizantes, em óleos minerais e na pintura e em cada ramo da Biologia Molecular e Medicina. A

espectrofotometria é uma ajuda essencial para a pesquisa científica. Por isso, é um recurso que não pode ser negado aos estudantes da Educação Básica.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Experimentação e Contextualização do Ensino de Química

Várias pesquisas têm ressaltado a importância da experimentação para contextualização do ensino de Química. Segundo os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) Brasil (1999a, p.137), “contextualizar o conteúdo que se quer aprendido significa, em primeiro lugar, assumir que todo conhecimento envolve uma relação entre o sujeito e o objeto”.

Ainda de acordo com os PCN (BRASIL, 1999a, p.138):

O tratamento contextualizado do conhecimento é o recurso que a escola tem para retirar o aluno da condição de espectador passivo. Se bem trabalhado permite que, ao longo da transposição didática, o conteúdo do ensino provoque aprendizagens significativas que mobilizem o aluno e estabeleçam entre ele e o objeto do conhecimento uma relação recíproca.

Sendo assim, a experimentação é uma ferramenta de ensino indispensável para o ensino de Química, mas em muitos casos é utilizada de maneira equivocada como afirma os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) Brasil (1999, p.36):

Deve ficar claro aqui que a experimentação na escola média tem função pedagógica, diferentemente da experiência conduzida pelo cientista. A experimentação formal em laboratórios didáticos, por si só, não soluciona o problema de ensino-aprendizagem em Química. As atividades experimentais podem ser realizadas na sala de aula, por demonstração, em visitas e por outras modalidades. Qualquer que seja a atividade a ser desenvolvida, deve-se ter clara a necessidade de períodos pré e pós atividade, visando à construção dos conceitos. Dessa forma, não se desvinculam “teoria” e “laboratório”.

Ainda de acordo com PCNEM Brasil (1999), para o aprendizado científico, matemático e tecnológico, a experimentação na Educação Básica deve ser conduzida de forma diferente em relação à experimentação realizada pelos cientistas em suas descobertas, permitindo ao estudante diferentes formas de percepção qualitativa e quantitativa, de manuseio, observação, confronto, dúvida e de construção conceitual. A experimentação ainda pode permitir ao aluno a obtenção de dados significativos, com os quais ele possa verificar ou propor hipóteses explicativas e fazer previsões sobre outras experiências não realizadas.

Para que as atividades experimentais não sejam simples reproduções de receitas prontas meramente demonstrativas, as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais PCN+ Brasil (2011) nos mostram que as atividades experimentais devem partir de uma situação problema, de uma pergunta a ser respondida. Nesse contexto, o papel do professor é orientar os alunos na busca de respostas, para que eles elaborem hipóteses, testem-nas, organizem os resultados obtidos, reflitam sobre o significado de resultados esperados e, sobretudo, o dos inesperados, e usem as conclusões para a construção do conceito pretendido.

Os PCN+ Brasil (2002) acrescentam que para que a experimentação tenha sentido, é indispensável que esteja presente ao longo de todo o processo de desenvolvimento das competências, privilegiando-se o fazer, manusear, operar, agir, em diferentes formas e níveis, podendo assim garantir a construção do conhecimento pelo próprio aluno, desenvolvendo sua curiosidade e evitando a aquisição do conhecimento científico como uma verdade estabelecida e inquestionável. Para isso, deve-se atribuir a experimentação uma abordagem além das situações convencionais de experimentação em laboratório, evitando-se experiências que se reduzem à execução de uma lista de procedimentos previamente fixados, cujo sentido nem sempre fica claro para o aluno.

Para as Orientações Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (OCNEM), a experimentação não deve ser simplesmente, a reprodução de uma aula teórica dada de outra maneira. A manipulação correta de materiais e equipamentos não deve ser a única finalidade da experimentação, embora seja uma habilidade a ser desenvolvida. A atividade experimental pode estimular a proliferação e sistematização de ideias que unam teoria e prática. Sendo assim, a problematização de fenômenos e processos, elaboração de hipóteses, sistematização de dados e análises, certamente contribuirão para ampliar os conhecimentos do aluno.

Do mesmo modo, as OCNEM mostram que é importante considerar que a experimentação, por si só, não assegura a produção de conhecimentos químicos de nível teórico-conceituais significativos e duradouros, mas cumpre um papel essencial, ajudando no desenvolvimento de novas consciências sociais e ambientais. Sendo assim, o aspecto formativo das atividades práticas experimentais não pode ser negligenciado a um caráter superficial, mecânico e repetitivo, em detrimento da promoção de aprendizados efetivamente articuladores do diálogo

entre saberes teóricos e relevantes para os sujeitos em formação. As OCNEM também nos diz que:

Contrariamente ao que muitos creem, a Química/Ciência não se apoia nas aparências nem busca essências escondidas na natureza. Sendo uma construção humana, portanto histórica, ela se dá com o desenvolvimento de conceitos no confronto com dados experimentais e com ideias cotidianas, em situação real, pela compreensão conceitual do que está além das aparências e das impressões primeiras. Por isso, a situação experimental, a prática, a experimentação, jamais deve ser esquecida na ação pedagógica. Pelo contrário, deve-se confrontá-la com os conceitos construídos historicamente, mostrar que não se pode “captar” pelos sentidos imediatos a existência, por exemplo, de átomos, de íons, de interações entre moléculas. Pode-se, porém, à luz dos conceitos químicos, entender as realidades, atingindo um nível de compreensão impossível pelos dados sensoriais ou pelas percepções primeiras. [...] Ciência/Química dá para as sensações/percepções. Isso supera a visão do laboratório que funciona como mágica, ou como descoberta da verdade válida para qualquer situação. As teorias, sempre provisórias, não são encontradas (descobertas) na realidade empírica. São, isso sim, criações e construções humanas, e, por isso, sempre históricas, dinâmicas, processuais, com antecedentes, implicações e limitações. Tratar da inter-relação teoria prática no ensino implica, pois, desmistificar o laboratório e imbricá-lo com o ensino concernente a vivências sociais da vida cotidiana fora da escola, aproximando construções teóricas da ciência (saberes químicos/científicos) com realidades próximas vividas pelos alunos, dentro e fora da sala de aula. (BRASIL, 2006, p.124)

Para Baratieri et al. (2008), contextualizar os conteúdos nas atividades experimentais requer a superação da concepção pela qual esse tipo de atividade é condição fundamental para que teorias e leis sejam comprovadas e demonstradas. É função essencial do professor a promoção de atividades que levem o aluno a questionar, refletir e agir. Além disso, atividades experimentais permitem que os alunos ponham em prática o que aprenderam. Isso pode ser concretizado quando a experimentação é realizada em ambientes que favoreçam os trabalhos de grupo e em lugares distintos da sala de aula. Para esses autores, outras reflexões relacionadas aos resultados da pesquisa realizada remetem ao papel da experimentação na Educação Básica, podendo constituir um excelente caminho para que conceitos químicos sejam discutidos e problematizados, com a intervenção pedagógica do professor e com auxílio do livro didático.

Portanto, Baratieri et al. (2008) argumentam que os resultados da investigação realizada favorecem as atividades experimentais que proporcionam a construção de uma visão de mundo menos estagnada e fragmentada, mais articulada aos processos que envolvem o indivíduo como participante de uma sociedade em constante modificação.

Na opinião de Hofstein (2004), não há dúvida de que ao longo dos anos tem havido crescimento substancial na compreensão, associada ao ensino, aprendizagem e avaliação, sobre a importância do laboratório nas aulas de Química. Apesar da existência de muitas pesquisas que mostram a eficácia educacional do laboratório como ambiente de aprendizagem, outras se esforçam para mostrar a relação entre o tipo de experiências realizadas e a aprendizagem dos alunos, identificando que a mera reprodução mecânica de um experimento não colabora com a aprendizagem. Sendo assim, não se pode afirmar que o laboratório é um meio eficaz de ensino para alcançar todas as metas na educação química.

No entanto, Hofstein (2004) nos diz que as atividades experimentais adequadas podem ser eficazes na promoção de competências cognitivas, metacognitivas, habilidades práticas e atitudes, e interesse para o trabalho prático no contexto da aprendizagem química. Além disso, é evidente que o fornecimento aos estudantes de atividades práticas tem o potencial de alterar o ambiente de aprendizagem da sala de aula e assim aumentar a motivação dos alunos para estudar Química.

Para Cachapuz, Praia e Jorge (2004), o trabalho experimental, nos seus vários formatos, é um instrumento privilegiado. No entanto, continuam a haver alunos que atravessam a Educação Básica sem terem tido a oportunidade de realizar uma só experiência. Muito menos ainda são os estudantes que foram envolvidos em algum pequeno projeto de pesquisa, tendo a oportunidade de reconhecer o quanto é difícil descobrir algo de novo, a complexidade de um planejamento, ainda em que em uma escala ao seu nível de conhecimento, o aumento de sua autoestima em face de uma experiência com sucesso ou a frustração de um resultado não esperado. Do ponto de vista destes autores, a ênfase do trabalho experimental deve ser centrada no aluno e, se possível, envolvendo algum tipo de pesquisa.

Pereira (2008) ressalta que, para tentarmos superar as limitações apresentadas no uso da experimentação de forma equivocada, é necessário repensar o ensino de Química de forma que o distancie do tradicionalismo, inserindo-o em um novo contexto em que se vise uma formação mais abrangente.

Seguindo essa perspectiva, consideramos que o ensino de Química deveria estar relacionado à formação do cidadão, apresentando ao aluno uma concepção de

Ciência como atividade humana em construção que leve em conta o papel social da Ciência. Sendo assim, para que a experimentação possa contribuir para a formação cidadã do aluno, seguiremos o enfoque CTSA.

O enfoque CTSA é uma proposta educacional que trata das relações recíprocas entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente, com o objetivo de desenvolver no aluno uma alfabetização científica e tecnológica focada na formação de valores e atitudes diante da intervenção da ciência e tecnológica na sociedade e no meio ambiente, e propõe uma maior compreensão por parte do aluno frente aos impactos ambientais e sociais proporcionados pelo desenvolvimento científico e tecnológico para uma participação cidadã responsável (FIRME, 2007).

A perspectiva CTSA é caracterizada pela organização conceitual centrada em abordagem de temas relevantes que afetam diretamente a sociedade e o meio ambiente que manifestam uma preocupação com os aspectos sociais e ambientais relativos a implicações da ciência e tecnologia (SANTOS; SCHNETZLER, 2003).

Utilizando a educação química sob o enfoque CTSA espera-se preparar o aluno para que compreenda e utilize de informações químicas básicas sua efetiva participação na sociedade em que vive. Dessa forma, demonstra-se a importância da ciência e da tecnologia, acredita-se que o aluno já esteja familiarizado aos seus benefícios, mas não se questiona sobre os seus efeitos futuros Anele (2007).

4.2 Química Analítica como Ferramenta para Experimentação no Ensino de Química na Educação Básica.

A Química Analítica ainda é subutilizada nas escolas de Educação Básica. Dessa forma, os professores de Química estão desperdiçando esta grande ferramenta para promover a experimentação de forma contextualizada. Pesquisando as publicações da revista Química Nova na Escola no período de (1995 a 2013), encontramos vários trabalhos que utilizaram a Química Analítica como atividade experimental no Ensino Médio, dos quais podemos citar: Gonçalves, Antunes, K. C. L. e Antunes, A. (2001), Silva et al. (2002), Dazzani et al. (2003), Ferreira et al. (2004), Curi (2006), Ribeiro e Nunes (2008).

Gonçalves, Antunes, K. C. L. e Antunes, A. (2001) propuseram uma aula experimental, baseada na determinação qualitativa dos íons cálcio e ferro em leite enriquecido permitindo que o professor possa abordar a relação deste alimento,

presente no cotidiano dos alunos, com o combate à desnutrição e à deficiência do íon ferro no organismo, e utilizar a determinação qualitativa da presença de íons ferro e cálcio no leite, a partir de reações químicas, como um meio para introduzir conceitos químicos como, por exemplo, reação química, solubilidade, acidez, basicidade e equilíbrio químico.

Silva et al. (2002) desenvolveram três projetos para o ensino de Química no Ensino Médio: Eficiência das Soluções Ácidas de Limpeza, Eficiência dos Sabões e o Cobre na Cachaça, que foram aplicados em duas escolas de Ensino Médio na qual os alunos avaliaram a qualidade dos produtos de diversas marcas comercializados em Florianópolis. De acordo com os autores, a Química Analítica pode revelar grandezas ocultas, podendo ser considerada, uma ferramenta indispensável para o ensino de Química na Educação Básica. A Química Analítica pode ser usada de muitas maneiras em favor da sociedade, esclarecendo os alunos, que são cidadãos e consumidores, sobre o real significado da qualidade de alguns produtos de uso comum, promovendo de forma interdisciplinar a relação entre Química e cidadania. Como resultado da intervenção de métodos da Química Analítica realizadas, os estudantes perceberam a desigual relação entre indústrias inescrupulosas e consumidores.

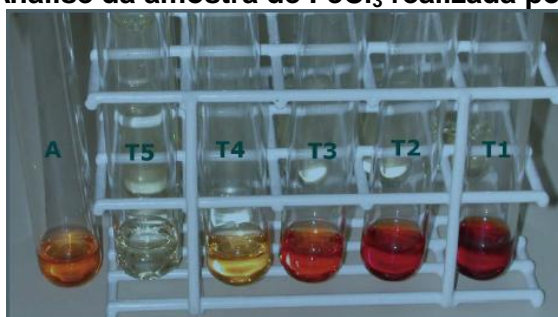
Dazzani et al. (2003) ampliaram o potencial do já conhecido experimento “determinação do teor de álcool na gasolina”, desenvolvendo conceitos associados à análise qualitativa e quantitativa no Ensino Médio, permitindo aos alunos relacionarem propriedades físicas e químicas com a identificação e quantificação de substâncias, aprimorando os conceitos de densidade, solubilidade e concentração. A comparação do teor de álcool na gasolina obtido pelos estudantes, e comparado com os valores aceitáveis na legislação vigente, mostrou aos alunos a importância de realizar análises químicas para controlar a qualidade dos produtos despertando, assim, nos estudantes do Ensino Médio, alguns aspectos importantes da Química Analítica.

Ferreira et al. (2004) apresentaram um método experimental para determinação da concentração de oxigênio dissolvido (COD) em água. Alternativo aos métodos conhecidos, que são inviáveis economicamente nas escolas de Ensino Médio, no experimento proposto para determinação de COD, foram utilizados materiais de baixo custo como água, palha de aço, garrafas de refrigerante e balança analítica ou menos precisa. O experimento se mostrou eficiente para a

determinação semi-quantitativa de COD (erro relativo = 8,4%), permitindo que diversos aspectos da Química pudessem ser abordados, inclusive do ponto de vista analítico.

Curi (2006) utilizou a colorimetria, base de inúmeros métodos analíticos instrumentais ou não, para determinação de íons Fe^{3+} em solução aquosa, mostrando ao aluno a rotina básica do trabalho de um químico analista. Esta proposta foi desenvolvida com alunos do 1º ano do Ensino Médio. Os alunos receberam um kit, com todo o material necessário, e as instruções de como realizar o experimento em casa, assim como os conceitos importantes para a realização do experimento. Os resultados das análises foram enviados pela internet e posteriormente discutidos nas aulas. O experimento introduziu conceitos como: análise qualitativa e semi-quantitativa; reações específicas; testes padrão e branco; diluição e concentração. Os resultados obtidos com o experimento, na forma de kit, mostraram que este tipo de atividade pode ser uma estratégia adequada para aumentar o interesse dos alunos nas aulas de Química.

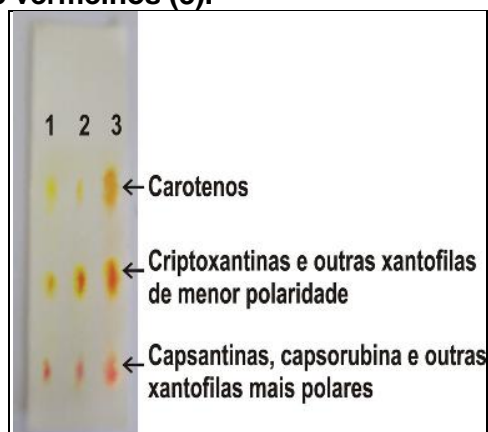
Figura 2 – Análise da amostra de FeCl_3 realizada por Curi (2006)



Fonte: (CURI, 2006)

Ribeiro e Nunes (2008) propuseram utilizar a cromatografia em papel para separar os pigmentos de pimentões verdes, amarelos e vermelhos, e com base no resultado dos cromatogramas, o experimento pode introduzir os conceitos de interações intermoleculares, polaridade e propriedades de funções orgânicas. A cromatografia em papel de extratos de pimentões permite a visualização da separação cromatográfica dos principais pigmentos existentes no extrato dos pimentões: os carotenos, as criptoxantinas, as capsantinas e a capsorubina. Além de despertar o interesse pela química de produtos naturais, o experimento utiliza matérias simples tornando-se sua realização viável em laboratórios que não dispõem de muitos recursos materiais.

Figura 3 – Cromatogramas dos extratos de pimentões amarelos (1), verdes (2) e vermelhos (3).



Fonte: (RIBEIRO; NUNES, 2008)

Zuin, Ioriatti e Matheus (2009) aplicaram para um grupo de estudantes de uma escola de Ensino Básico da rede pública da cidade de São Carlos - SP, no decorrer de um ano letivo, um projeto utilizando o emprego de parâmetros físicos e químicos para a avaliação da qualidade de Águas Naturais, os estudantes coletaram amostras da água de um córrego durante períodos diferentes do ano, os parâmetros físico-químicos analisados foram: temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD) e condutividade elétrica. A partir dos resultados, observou-se que os estudantes compreenderam o significado dos parâmetros estudados, utilizando os conceitos científicos apropriadamente. Destacando-se a consistência das argumentações geradas nas discussões a respeito da influência do regime de chuvas na região e dos efeitos da ocupação desordenada das margens do córrego e os impactos decorrentes (desmatamento, grande quantidade de esgoto doméstico, assoreamento do corpo d'água etc.). Outro ponto positivo durante o desenvolvimento do trabalho foi o intenso e efetivo envolvimento dos participantes, o que contribuiu significativamente para a aprendizagem de conceitos científicos e tecnológicos que, inter-relacionados às questões sociais e ambientais, possibilitaram uma educação mais crítica e participativa e comprometida com a cidadania.

Oliveira, Resende Filho e Andrade (2011) aplicaram uma proposta metodológica baseada na adaptação de um experimento de identificação de ácido salicílico em produtos dermatológicos, utilizando materiais de baixo custo, proporcionando uma abordagem contextualizada de diversos conteúdos do Ensino Médio como: equilíbrio químico, reações químicas, funções orgânicas, sais complexos etc. O experimento foi aplicado em uma turma de 1º ano do Ensino

Médio. Durante a realização da atividade, notou-se nos alunos um grande interesse em relação à Química, fazendo com que eles participassem ativamente das atividades em sala de aula. Os resultados nos dizem que a compreensão dos alunos acerca do conteúdo e à questão motivacional foi excelente.

Figura 4 – Materiais e reagentes convencionais utilizadas na análise qualitativa.



Fonte: (OLIVEIRA; RESENDE FILHO; ANDRADE, 2011)

4.3 Fundamentos da Radiação Eletromagnética

4.3.1 Entendendo a radiação eletromagnética.

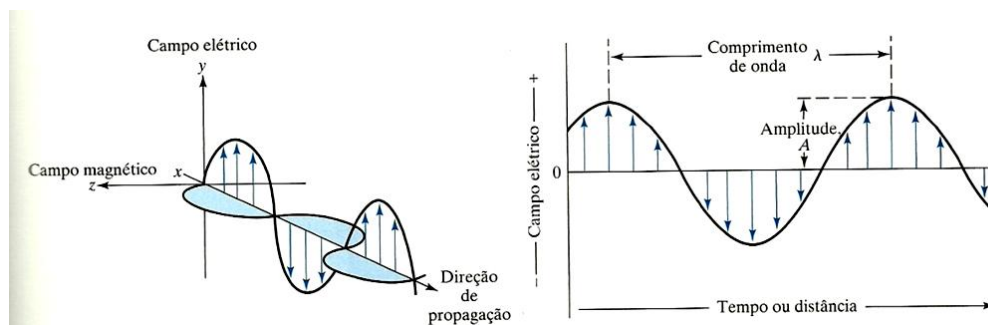
O homem vive em um ambiente que está permanentemente exposto à radiação eletromagnética, que pode ocorrer naturalmente. Alguns destes fenômenos de radiação são detectados com os próprios sentidos. O calor radiante do sol é reconhecido pelo organismo como o calor, enquanto o olho responde à luz para dar o poder da visão. Mas o espectro visível, de que o olho humano é sensível, é uma parte muito estreita da radiação a que ele é exposto. A luz visível é uma forma de radiação eletromagnética como também as ondas de rádio, as microondas e os raios X. Todas essas formas de radiação transferem energia de uma região do espaço para outra.

A radiação eletromagnética é o produto da interação de campos elétricos e magnéticos oscilantes perpendicularmente que atravessam o vácuo a uma velocidade de 1080 milhões de quilômetros por hora ou 3×10^8 m/s. Esta é chamada velocidade da luz e possui símbolo **c**. Quando um feixe de luz encontra um elétron, seu campo elétrico oscila em direção e intensidade. O número de ciclos por segundo é chamado de frequência ν da radiação, e sua unidade é o hertz (Hz), definida como um ciclo por segundo. A frequência da radiação eletromagnética que é percebida como luz visível é de cerca de 10^{15} Hz, isto quer dizer que seu campo magnético

muda de direção cerca de 10^{15} vezes por segundo ao passar por um determinado ponto (ATKINS; JONES, 2006).

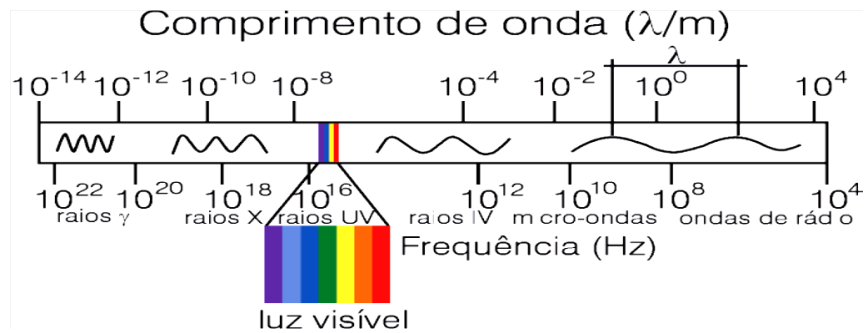
A Figura 5 é um esquema representativo de uma onda eletromagnética. A onda se caracteriza pela amplitude, ou seja, é a altura da onda em relação à linha central, o comprimento de onda λ (a distância entre dois máximos sucessivos). O comprimento de onda da luz visível é da ordem de 500nm, comprimentos de ondas diferentes correspondem a regiões diferentes do espectro eletromagnético figura 6. Nossos olhos detectam a radiação eletromagnética entre os comprimentos de onda 700nm (luz vermelha) e 400nm (luz violeta). Neste intervalo, a radiação é chamada de luz visível. O comprimento de onda e a frequência relacionam-se entre si pela equação: $\lambda \cdot \nu = c$ (ATKINS; JONES, 2006)

Figura 5 – Onda eletromagnética



Fonte: (HOLLER; SKOOG; CROUCH, 2009)

Logo no início do século XX, os físicos alemães Max Planck e Albert Einstein demonstraram que, além de possuir propriedades ondulatórias, a luz também possui propriedades de partícula. Sendo assim, a luz se comporta como se fosse composta por pequenas quantidades de energia ou **quanta** (fótons). A energia **E** do fóton emitido ou absorvido por uma substância é proporcional à frequência da luz ν relacionando-se na equação: $E = h\nu$, onde **h** é a constante de Planck que tem o valor de $6,63 \times 10^{-34}$ Js (BRADY; HUMSTON, 1986).

Figura 6 – Espectro eletromagnético

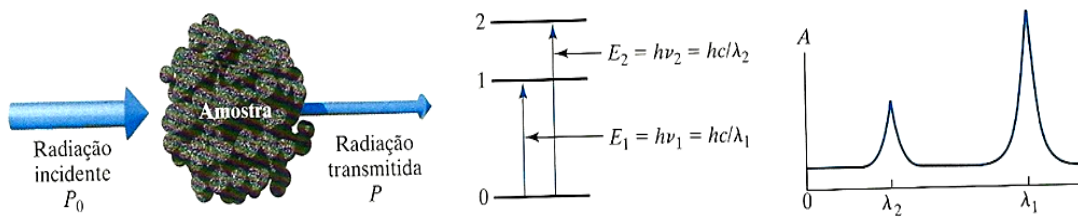
Fonte: (ALMEIDA; SANTOS, 2001)

4.3.2 A Interação da radiação eletromagnética com a matéria.

Quando a radiação eletromagnética entra em contato com a matéria, ocorre algum fenômeno espectroscópico. A partir desses fenômenos, poderemos obter informações sobre transições eletrônicas, como, por exemplo, as cores observadas das substâncias químicas, ou o calor liberado quando substâncias estão sofrendo vibrações moleculares. Quando ocorre a interação da radiação eletromagnética com a matéria, podem ocorrer transições entre estados energéticos, dependendo da quantidade de energia da radiação eletromagnética. Essas transições são divididas em vários tipos: transições eletrônicas, vibracionais e rotacionais.

Nas transições eletrônicas, ocorre a passagem de um elétron de um estado de menor energia para um estado de maior energia, através da absorção da radiação, mas praticamente não há mudança da posição dos núcleos da molécula. No entanto, nas transições rotacionais e vibracionais ocorrem mudanças, na posição relativa dos átomos na molécula devido ao efeito da radiação eletromagnética (OLIVEIRA, 2001). Quando uma molécula absorve um fóton sua energia aumenta, sendo promovida para um estado excitado. Já se uma molécula emite um fóton sua energia diminui e a molécula volta para o estado de menor energia chamado estado fundamental. Quando a radiação de micro-ondas é absorvida estimula o movimento rotacional da molécula. A radiação infravermelha estimula as vibrações das moléculas. Já a radiação UV-Visível promove os elétrons para níveis de maior energia figura 7, e os raios X quebram as ligações químicas e ionizam as moléculas (HARRIS, 2001).

Figura 7 – Absorção de energia por uma amostra



Fonte: (HOLLER; SKOOG; CROUCH, 2009)

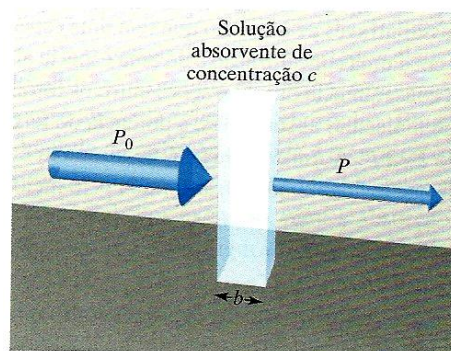
São inúmeros os métodos de Química Analítica que possuem como princípio a interação da radiação eletromagnética com a matéria, esses métodos são chamados de métodos espectrométricos. Podem-se citar alguns como a Espectrometria de Emissão Atômica, Espectrometria de Fluorescência e Fosforescência, Espectrometria Raman e Espectrometria de Absorção Molecular no UV-Visível, esta última utiliza a absorção da radiação na faixa de comprimento de onda do ultravioleta-visível, isso quer dizer entre 190m a 800nm.

4.3.3 Absorção da radiação e a concentração

De acordo com Skoog et al. (2006), cada substância química é capaz de absorver suas próprias frequências de radiação eletromagnética. Nesse processo, temos uma diminuição da intensidade da radiação eletromagnética incidente.

A lei de absorção, conhecida como **Lei de Beer-Lambert** ou simplesmente **Lei de Beer**, nos mostra quantitativamente como a diminuição da intensidade da radiação depende da concentração das moléculas absorventes como também da extensão do caminho no qual ocorre a absorção.

Figura 8 – Diminuição de um feixe de radiação por uma solução absorvente



Fonte: (HOLLER; SKOOG; CROUCH, 2009).

A Figura 8 mostra a diminuição de radiação de um feixe de luz monocromática quando ela passa por uma solução absorvente de caminho óptico (espessura) **b** cm e de concentração igual a **c** mols por litro, a potência radiante do feixe decresce de **P₀** para **P**. A **transmitância T** é definida como a fração da radiação incidente transmitida pela solução e esta representada pela equação:

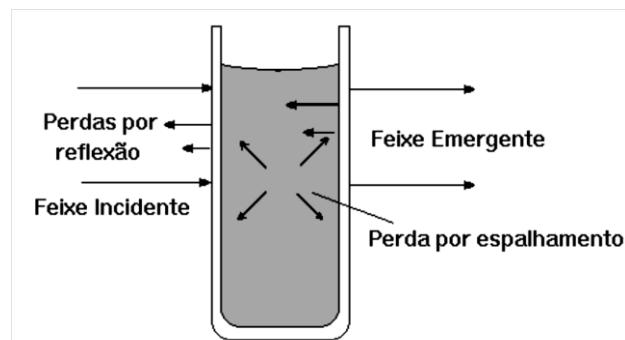
$$T = \frac{P}{P_0} \quad (1)$$

Na **absorbância A** de uma solução **n** com a transmitância de forma logarítmica, observa-se que, quando a **absorbância** de uma solução aumenta, sua transmitância diminui. A **absorbância** é representada pela equação:

$$A = -\log T = \log \frac{P_0}{P} \quad (2)$$

Na prática, não se medem transmitância e absorbância como mostrado nas equações acima, considera-se que experimentalmente a solução a ser analisada vai estar contida em algum recipiente ocorrendo perdas de radiação por reflexão nas paredes do recipiente ou por espalhamento a partir da superfície de moléculas grandes ou partículas de poeira presentes no solvente.

Figura 9 – Perdas por reflexão e espalhamento



Fonte: (SKOOG et al., 2006).

Para compensar esses efeitos, pode-se comparar a radiação transmitida pelo recipiente que contém a solução a ser analisada (analito), com o recipiente contendo o solvente puro (branco), e assim obtemos uma absorbância experimental muito próxima da verdadeira.

$$A = \log \frac{P_0}{P} \approx \log \frac{P_{\text{solvente}}}{P_{\text{solução}}} \quad (3)$$

Passando os termo P_0 e P a se referir como potência de um feixe de radiação que passou pelo branco e pelo analito respectivamente.

De acordo com a **Lei de Beer**, a absorbância de uma radiação monocromática é diretamente proporcional ao caminho **b**, e a concentração **c** da espécie absorvente essa relação é mostrada por:

$$A = abc \quad (4)$$

Onde a é uma constante de proporcionalidade chamada **absortividade**, quando a concentração **c** é expressa em mols por litro e o caminho óptico **b** é expresso em centímetros. A absortividade é denominada absortividade molar e recebe o símbolo ϵ passando a equação a ser representada por (HOLLER; SKOOG; CROUCH, 2009):

$$A = \epsilon bc \quad (5)$$

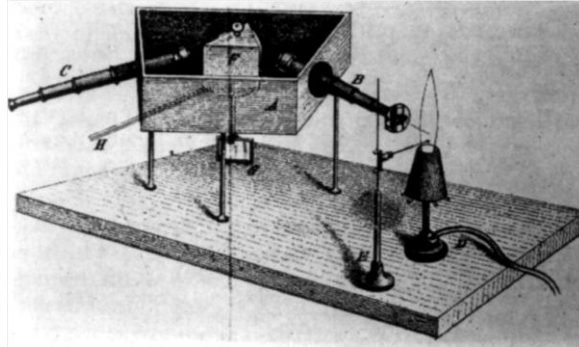
4.4 Espectrofotometria

4.4.1 A História da espectroscopia

O início da Espectroscopia se deu com a observação do espectro solar feita por Isaac Newton em 1672. Em seu experimento, Newton fez com que os raios do sol passassem por uma pequena abertura para dentro de uma sala escura, por onde passaram por um prisma e se dispersaram nas cores do espectro. O primeiro a descrever as características do espectro além da simples observação das cores foi Wollaston em 1802, notando linhas escuras em uma imagem fotográfica do espectro solar. Em 1817, Fraunhofer descreveu em detalhes essas linhas atribuindo-lhes letras às linhas mais elevadas, começando com "A" na extremidade do vermelho do espectro. A explicação da origem das linhas de Fraunhofer ficou para Gustav Kirchhoff e Robert Wilhelm Bunsen, em 1859 e 1860, Bunsen inventou o seu famoso queimador (Figura 21), tornando possível Kirchhoff observar o fenômeno da emissão e absorção espectrais em uma chama. Juntamente com Bunsen, Kirchhoff observou que diferentes elementos poderiam produzir diferentes cores de chamas e gerar espectros que exibiam diferentes bandas coloridas ou linhas, sendo considerados os descobridores do uso da espectroscopia na análise química. Esse método foi rapidamente empregado para muitas outras finalidades incluindo a descoberta de

novos elementos químicos, como o céσιο e rubídio em 1860 e pelo tálio em 1861 (SKOOG et al., 2006).

Figura 10 – Queimador de Bunsen



Fonte: (SKOOG et al., 2006).

4.4.2 Espectrofotometria: usos e conceitos

Na análise espectrofotométrica UV-Visível, utiliza-se uma fonte de radiação no comprimento de onda na região do UV-Visível, escolhendo uma faixa de comprimento de onda bem definida. Um espectrômetro é um instrumento que possui um sistema que dispersa a radiação eletromagnética que incide sobre um sistema permitindo a medida da quantidade de radiação transmitida em determinado comprimento de onda, já um fotômetro mede a intensidade de radiação transmitida. Quando combinados espectrômetro e fotômetro (espectrofotômetro), produz-se um sinal que corresponde à diferença entre a radiação transmitida por um material de referência e uma amostra.

Na espectrofotometria, a luz, que é da maior importância, está situada na faixa de comprimento de onda em que o olho humano é sensível, que está localizada entre 400nm e 760nm no espectro eletromagnético, como observamos no Quadro 1 (MENDHAM et al., 2002).

Quadro 1 – O espectro visível

Região de comprimento de onda absorvida, nm	Cor da Luz Absorvida	Cor Complementa Transmitida
400-435	Violeta	Amarela-esverdeada
435-480	Azul	Amarela
480-490	Azul-esverdeada	Laranja
490-500	Verde-azulada	Vermelha
500-560	Verde	Púrpura
560-580	Amarela-esverdeada	Violeta
580-595	Amarela	Azul
595-650	Laranja	Azul-esverdeada
650-750	Vermelha	Verde-azulada

Fonte: (SKOOG et al., 2006).

A percepção visual da cor de uma solução depende da absorção da radiação, uma solução de $\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}$ (Tiosianato de ferro II) é vermelha porque absorve o verde da luz branca que penetra no recipiente e transmite vermelho cor complementar do espectro. Sendo assim, a radiação empregada em uma análise colorimétrica deve ser a cor complementar da solução (SKOOG et al., 2006).

4.4.3 Instrumentação para a espectrofotometria

A espectrofotometria é um método bastante aprimorado de determinação de concentração de uma solução. Os componentes que formam os instrumentos para espectrofotometria (**fotômetro e espectrômetro**) são constituídos basicamente de:

Figura 11 – Esquema dos principais dispositivos em um espectrofotômetro

Fonte: (AUTOR, 2014).

- **Fonte de radiação** – para ser adequada a estudos espectroscópicos, uma fonte deve gerar um feixe com potência radiante suficiente para facilitar a detecção das medidas. Sendo assim, é necessária uma fonte regulada de alimentação para suprir a estabilidade requerida. A principal fonte contínua utilizada para a região do visível é a lâmpada de filamento de tungstênio, que é uma lâmpada de uso universal semelhante a que usamos em casa (HOLLER; SKOOG; CROUCH, 2009).

- **Seletores de comprimento de onda** – os instrumentos para espectrofotometria são geralmente equipados com um ou mais dispositivos que selecionam o comprimento de onda com uma largura de banda estreita aumentando a sensibilidade da medida. Os principais tipos de seletores são os: filtros e os monocromadores, como, por exemplo, um prisma ou uma rede de dispersão (SKOOG et al., 2006).
- **Recipientes para amostra** – quando se deseja analisar uma solução, esta é colocada em um recipiente, chamado células ou cubetas, feitas de um material que não absorva radiação na região do espectro a ser analisada, podendo ser de quartzo ou sílica para a região do ultravioleta. Já para a região do visível, podem-se utilizar cubetas de plásticos como as de poliestireno, geralmente são utilizadas cubetas de 1 cm de caminho óptico. (MENDHAM et al., 2002).
- **Transdutores de radiação** – são dispositivos que convertem a informação em um domínio não elétrico em informação no domínio elétrico, são exemplos de transdutores: fotodiodos, fotomultiplicadoras e outros fotodetectores eletrônicos que produzem uma corrente ou voltagem proporcional à potência da radiação. Os transdutores podem produzir voltagens de saída, corrente de saída ou cargas de saída. (HOLLER; SKOOG; CROUCH, 2009).
- **Processadores de sinal e dispositivos de leitura** – o processador de sinal é um dispositivo eletrônico que amplifica o sinal elétrico do transdutor. Muitos tipos de dispositivos de leitura são encontrados nos instrumentos mais simples como os usados em microamperímetro. Nos instrumentos mais modernos, são usados medidores digitais, escalas de potenciômetros, registradores e tubos de raios catódicos (SKOOG et al., 2006).

4.5 Fotômetros e Espectrofotômetros: Alternativas de baixo custo aos instrumentos comerciais.

A espectrofotometria é uma técnica instrumental de análise amplamente utilizada para determinação qualitativa e quantitativa de um grande número de substâncias químicas, sendo largamente utilizada nos laboratórios das indústrias

como também nos laboratórios de pesquisa acadêmicos. No momento atual, existem instrumentos ópticos com uma variação de preços partindo de R\$ 1.250,00 para instrumentos mais simples como o Colorímetro Fotoelétrico Digital Mod. C-200, ou 9.130,00 R\$ para instrumentos mais sofisticados como o Espectrofotômetro Digital Mod. UV-2000A.

Figura 12 – Colorímetro Fotoelétrico C-200



Fonte: <<http://www.etrronics.com.br/1694/colorimetro-fotoeletrico-digital-220v-c-200-para-laboratorios>>

Figura 13 – Espectrofotômetro UV-2000 A



Fonte: <<http://catalogo.tecnoferramentas.com.br/produtos/instrutherm/espectrofotometro>>

Devido ao alto custo desses equipamentos, nas últimas décadas várias pesquisas foram publicadas, como artigos científicos, dissertações de mestrado e teses de doutorado, focando a construção de fotômetros e espectrofotômetros com materiais de baixo custo. Nas seções 2.5.1 e 2.5.2 serão demonstradas iniciativas, de pesquisadores, de elaboração de fotômetros e espectrofotômetros de baixo custo tanto para fins experimentais quanto para fins didáticos.

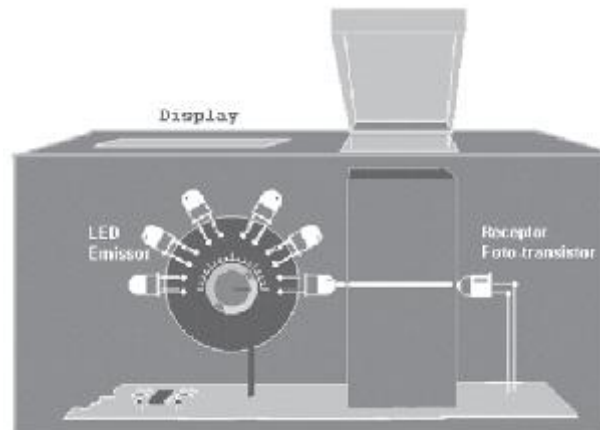
4.5.1 A Construção de fotômetros e espectrofotômetros de baixo custo para fins experimentais.

Em 1997, Araújo et al. (1997) desenvolveram um fotômetro de fluxo para análises clínicas à base de um diodo emissor de luz bicolor, o fotômetro

desenvolvido utiliza um LED bicolor e um fototransistor. Esse instrumento apresentava algumas novidades como zero automático e calibração eletrônica. Comparado com um fotômetro clássico é mais simples e possui as vantagens de um sistema de análise em fluxo, utilizando menores volumes de reagentes e amostra, e também menores níveis de contaminação e menor tempo para a análise e redução de custos. Esse fotômetro foi testado na determinação de constituintes em amostras de sangue como: albumina, colesterol, ureia, ácido úrico, hemoglobina e glicose, obtendo resultados mais precisos que os apresentados utilizando o fotômetro clássico.

Em 2005, Gaião et al. (2005) desenvolveram um fotômetro multi-led microcontrolado, portátil e de baixo custo. O fotômetro desenvolvido utiliza seis LEDs de cores diferentes abrangendo as seguintes faixas de comprimento de ondas como fonte de radiação: violeta ($\lambda_{\text{máx}} = 430 \text{ nm}$), azul ($\lambda_{\text{máx}} = 485 \text{ nm}$), verde ($\lambda_{\text{máx}} = 560 \text{ nm}$), amarelo ($\lambda_{\text{máx}} = 580 \text{ nm}$), laranja ($\lambda_{\text{máx}} = 600 \text{ nm}$) e vermelho ($\lambda_{\text{máx}} = 660 \text{ nm}$), e um fototransistor como detector. O instrumento também utiliza um microcontrolador PIC (Controlador de Interrupção Programável, do inglês: *Programmable Interrupt Controller*), esse dispositivo forneceu total autonomia ao instrumento dispensando a utilização do uso de um microcomputador para tratamento dos dados. Para avaliar o desempenho do fotômetro proposto, foram realizadas análises quantitativas de íon ferroso (Fe^{2+}) em amostras de xarope e de proteínas totais, albumina, glicose, ureia, cálcio, cloreto e hemoglobina em amostras de soro sanguíneo. Comparando os resultados obtidos com o fotômetro desenvolvido e instrumentos comerciais, os limites de detecção e quantificação foram estimados, em nível de 95% de confiança.

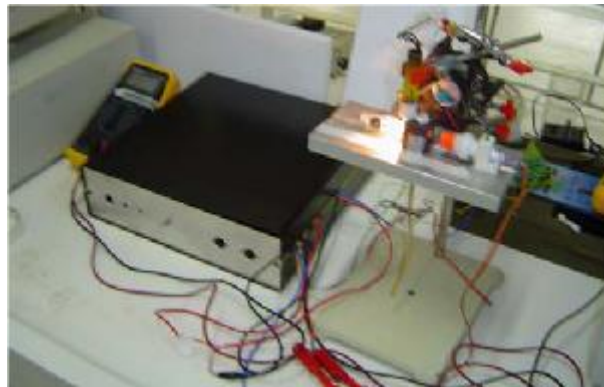
Figura 14 – Esquema do fotômetro desenvolvido por Gaião et al. (2005).



Fonte: (GAIÃO et al., 2005)

Em 2006, em sua tese de doutorado intitulada: Desenvolvimento de um fotômetro portátil NIR para determinação do teor de água no álcool combustível e do teor de etanol na gasolina, Chagas (2006) desenvolveu um fotômetro NIR portátil para determinar o teor de água em álcool combustível hidratado combustível e o teor de etanol (Álcool etílico anidro carburente) em gasolina. Como fonte de radiação, foi utilizada uma lâmpada de tungstênio de 20 watts. Como detector, foi utilizado um fotodiodo de InGaAs, como transdutores de saída do instrumento foram empregados um microcontrolador PIC acoplado à um *display* de cristal líquido. Na análise de amostras de gasolina, foi obtida uma resposta linear para o teor de etanol entre 20 % e 30 %, com um erro médio de 3,0% para um total de 40 amostras analisadas. A Agência Nacional de Petróleo (ANP) considera até 4% de erro médio e desta forma o instrumento classifica corretamente 100 % das amostras.

Figura 15 – Fotômetro NIR desenvolvido por Chagas (2006)



Fonte: (CHAGAS, 2006)

Véras Neto (2008), em sua tese de doutorado intitulada: Um Espectrômetro Microcontrolado Baseado em LED Branco como Fonte de Radiação e Mídia de CD como Grade de Difração, desenvolveu um espectrômetro microcontrolado, portátil e de baixo custo. Esse instrumento combina o uso de uma mídia de CD (do inglês “*Compact Disc*”) como grade de difração e um diodo emissor de luz LED branco como fonte de radiação, como fototransdutor foi empregado um fototransistor e um microcontrolador PIC (Controlador de Interrupção Programável, do inglês: *Programmable Interrupt Controller*) como unidade de controle dando autonomia ao instrumento. Para testar o desempenho do instrumento, foram realizadas análises quantitativas na determinação de corantes alimentícios (tartrazina, amarelo crepúsculo, azul brilhante e vermelho-40) e Fe^{2+} em amostras de soluções orais de polivitamínicos. Para fins de comparação, dois espectrômetros comerciais foram empregados. Para os resultados de concentração obtidos com os três instrumentos, não houve diferenças significativas obtendo-se um nível de 95 % de confiança.

Figura 16 – Espectrofotômetro desenvolvido por Véras Neto (2008).

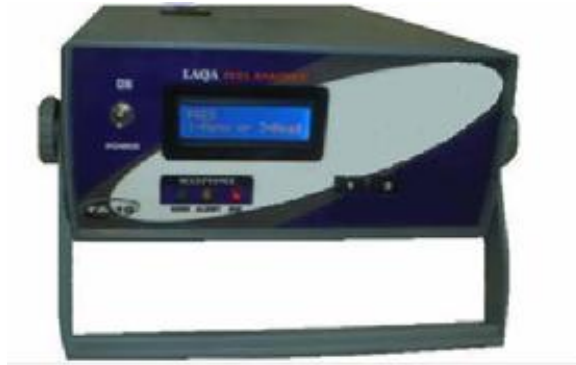


Fonte: (VÉRAS NETO, 2008).

Nascimento (2008), em sua tese de doutorado, desenvolveu um fotômetro microcontrolado LED-NIR, portátil e de baixo custo para análise *screening* de gasolinas tipo C. Em seu instrumento, utiliza-se um diodo emitindo luz no infravermelho próximo (*LED-NIR*) como fonte de radiação, um fotoresistor à base de PbSe como detector infravermelho e um microcontrolador PIC (Controlador de Interrupção Programável, do inglês: *Programmable Interrupt Controller – PIC*) como unidade de controle. O instrumento é aplicado com sucesso na análise *screening* para verificar adulteração por querosene e por solvente de tintas em amostras de gasolina. O fotômetro apresentou índice de acertos de 100% para gasolinas adulteradas mostrando-se ser uma alternativa econômica e viável para análises

screening de gasolinas tipo C para verificar adulteração por solvente ou querosene, acima dos níveis pré-estabelecidos em lei.

Figura 17 – Fotômetro desenvolvido por Nascimento (2008)



Fonte: (NASCIMENTO, 2008).

Lima (2009), em sua tese de doutorado intitulada Sensores ópticos e instrumentação para determinação de contaminantes em águas, investigou as potencialidades de um fotômetro NIR multicanal baseado em um arranjo de LED na determinação de benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX) em águas contaminadas por gasolina, utilizando-se a fase sensora de PDMS. O fotômetro baseado em LED apresenta uma montagem simples e de baixo custo, cujo valor é bastante inferior ao encontrado no mercado para a maioria dos espectrofotômetros NIR, indicando que o instrumento desenvolvido pode ser uma alternativa econômica e simples para a aplicação estudada.

Figura 18 – Instrumento desenvolvido por Lima (2009).



Fonte: (LIMA, 2009).

Diniz (2010), em sua dissertação de mestrado: Determinação do teor de NaCl, Glicose e KCl em medicamentos injetáveis por fotometria usando exploração do efeito Schlieren em Sistemas FIA e PLS1, desenvolveu um fotômetro a base de LED e fototransistor associado a um sistema automático de análises por injeção em fluxo para investigar as propriedades dos sinais analíticos gerados por efeito Schlieren,

em condições de baixa vazão, para determinação do teor de NaCl, KCl e glicose em soros fisiológico, KCl injetável e soro glicosado.

Figura 19 – Fotometro desenvolvido por Diniz (2010).

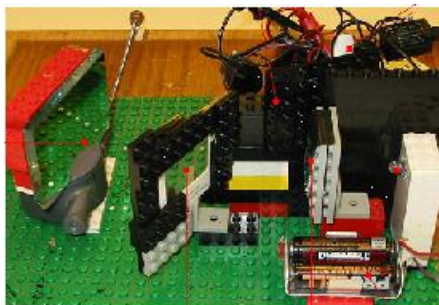


Fonte: (DINIZ, 2010).

4.5.2 A Construção de fotômetros e espectrofotômetros de baixo custo, voltados para o ensino de química

Knagge e Raftery (2002) publicaram o artigo *Construction and Evaluation of a LEGO Spectrophotometer for Student Use*. Neste trabalho, foi desenvolvido um espectrofotômetro simples para fins educacionais em nível de graduação. O espectrofotômetro utiliza como componentes: pequenas lâmpadas de lanterna, pilhas e usa peças LEGO para a construção dos suportes ópticos. O instrumento foi testado por análise de um espectro de absorção e de curvas de calibração de permanganato de potássio (KMnO_4), comparando os resultados com um instrumento comercial (Spectronic 20). Obtendo resultados com sucesso, o custo do instrumento desenvolvido ficou em torno de US\$ 200,00. Os autores acreditam que o espectrômetro desenvolvido pode ser utilizado com êxito para a instrução em um laboratório de instrumentação química.

Figura 20 – Espectrofotômetro desenvolvido por Knagge e Raftery (2002)



Fonte: (KNAGGE; RAFTERY, 2002).

Mota (2010) desenvolveu um fotômetro para fins didáticos para uso na contextualização de temas químicos sociais, como Química Ambiental, e em aulas de instrumentação analítica, com determinação de ortofosfato total em águas. Para sua construção, foram usados materiais de baixo custo e de fácil aquisição. O instrumento consiste basicamente de um LED (Diodo Emissor de Luz) amarelo como fonte e LDR (Resistor Dependente de Luz) como detector. O sinal do fotômetro é dado em valores de resistividade, medida com uso de multímetro digital. Como teste do instrumento, foi realizada a determinação do ortofosfato em águas, utilizando o método do azul de molibdênio. O instrumento proposto é uma alternativa economicamente viável, já que é orçado em aproximadamente R\$ 300,00, para laboratórios de ensino, como uma boa ferramenta didática em diversos tópicos do conteúdo programático no qual sua utilização seria adequada como em aulas de introdução à instrumentação analítica, em conceitos de espectroscopia e suas aplicações, assim como no vasto campo da Química Ambiental em nível de graduação.

Figura 21 – Fotômetro desenvolvido por Mota (2010)



Fonte: (MOTA, 2010)

Lüdke (2010) desenvolveu um espectrofotômetro UV/visível de baixo custo, destinado ao uso de alunos dos cursos de ciências da saúde durante atividades práticas de Química Analítica, Físico-Química e Biofísica, possibilitando estudos qualitativos e quantitativos de diversos aspectos experimentais relacionados às técnicas de espectrofotometria, principalmente a comprovação experimental da lei de Lambert-Beer. O fotômetro desenvolvido utiliza um LED fonte de radiação e um fototransistor como sensor de luz, o instrumento também utiliza um multímetro digital. O autor também aborda outras possibilidades de abordagem para o instrumento desenvolvido como, investigar a sensibilidade espectral de pigmentos naturais como a clorofila, que pode ser obtido por extrato alcoólico de folhas verdes como da laranjeira ou carotenoides a partir de extrato de pimentões ou cascas de laranja, usando LEDs verdes e vermelhos. Para o ensino de Biologia, Física e Química no Ensino Médio para exemplificar diversas aplicações da espectrofotometria.

Silva (2011) desenvolveu um aparelho portátil e de baixo custo, para que medidas específicas de absorvância possam ser feitas em laboratórios de ensino de Física e que possa ser aplicado como leitor de dosímetros géis. Este “monoespectrofotômetro” é constituído por uma fonte LED (próximo a 590 nm), um fotodiodo para avaliação da intensidade da luz transmitida e um *display* de LCD. Tal leitor permite a comunicação com microcomputadores via porta USB, facilitando o trabalho do usuário para manipular os resultados das medidas. A principal finalidade

do instrumento desenvolvido é o uso acadêmico em laboratórios de ensino de Física para fins didáticos, no entanto, devido ao seu baixo custo e simplicidade, poderá também ser direcionado para atender outros segmentos como ambulatorial, industrial, cosmético, biológico, agrônomo, dentre outros. O custo do instrumento foi estimado em torno de US\$ 150, 00, um valor bem inferior ao de qualquer instrumento comercial.

Figura 22 – Instrumento desenvolvido por Silva (2011)



Fonte: (SILVA, 2011)

Os trabalhos relacionados nesta seção serviram de alicerce para a construção do fotômetro proposto neste trabalho, no que diz respeito aos componentes essenciais para sua elaboração, como por exemplo, a utilização de LED como fonte de radiação, do LDR como transdutor de radiação, de multímetros como instrumento para leitura.

4.6 Validação analítica e tratamentos estatísticos: Fundamentos e métodos

Para Valderrama (2005), a validação é um processo de averiguação da performance de um método com o intuito de avaliar se este apresenta um desempenho adequado para as condições nas quais será aplicado. De acordo com Skoog et al (2006) a validação determina a adequação de uma análise no sentido de fornecer a informação desejada, podendo ser aplicada a amostras, metodologias e dados.

O bom desempenho de qualquer técnica analítica depende crucialmente de dois parâmetros: a qualidade das medidas instrumentais e a confiabilidade estatística dos cálculos envolvidos no seu processamento. Uma forma de assegurar a aplicabilidade e o alcance de um método durante as operações de rotina de um laboratório é estabelecendo os limites destes parâmetros por meio da estimativa das figuras de mérito, numa etapa conhecida como validação. (RIBEIRO et al., 2008, p. 164)

As figuras de mérito, parâmetros para validação de métodos, têm sido definidas em diferentes grupos de trabalho de organizações nacionais ou internacionais. Infelizmente algumas definições são diferentes entre as diversas organizações (RIBANI et al., 2004). No Brasil, os dois órgãos que regulamentam a validação de métodos analíticos são a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Instrumental (INMETRO).

De acordo com Valderrama (2005) as principais figuras de mérito são: Exatidão; Precisão; Sensibilidade; Seletividade; Linearidade; Razão sinal/ruído; Limite de detecção; Limite de quantificação; Robustez e Intervalos de confiança.

Para avaliação do desempenho do fotômetro desenvolvido, serão utilizadas as seguintes figuras de mérito, de acordo com o método de avaliação aplicado por Veras Neto (2008), para avaliar seu trabalho intitulado: “Um Espectrômetro Microcontrolado Baseado em LED Branco como Fonte de Radiação e Mídia de CD como Grade de Difração”, as figuras de mérito avaliadas foram:

- Linearidade
- Limite de detecção e Limite de quantificação
- Precisão (repetitividade)
- Exatidão

4.6.1 Figuras de mérito

- Linearidade

É a capacidade de uma metodologia analítica de demonstrar que os resultados obtidos são diretamente proporcionais à concentração do analito na amostra, dentro de um intervalo especificado. Recomenda-se que a linearidade seja determinada pela análise de, no mínimo, 5 concentrações diferentes. (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2003).

A linearidade é obtida por padronização interna ou externa e formulada como expressão matemática usada para o cálculo da concentração do analito a ser determinado na amostra real. A equação da reta que relaciona as duas variáveis é:

$$y = ax + b \quad (6)$$

sendo:

y = resposta medida (absorbância, altura ou área do pico, etc.);

x = concentração;

a = inclinação da curva analítica

b = interseção com o eixo y , quando $x = 0$

A linearidade de um método pode ser observada pelo gráfico dos resultados dos ensaios em função da concentração do analito e verificada a partir da equação da regressão linear, determinada pelo método dos mínimos quadrados. Uma alternativa para avaliar a linearidade seria a realização da análise de variância (ANOVA) na regressão. (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2010).

- Limite de detecção (LD)

O limite de detecção é a menor quantidade do analito presente em uma amostra que pode ser detectado, porém não necessariamente quantificado, sob as condições experimentais estabelecidas. (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2003)

De acordo com Ribani et al. (2004), o LD pode ser determinado pelo método baseado em parâmetros da curva analítica, podendo ser expresso como:

$$LD = 3,3 \times \frac{s}{S} \quad (7)$$

Onde s é a estimativa do desvio padrão da resposta, que pode ser a estimativa do desvio padrão do branco, da equação da linha de regressão ou do coeficiente linear da equação e S é a inclinação ou coeficiente angular da curva analítica.

Para calcular estes dados, uma curva analítica deverá ser feita utilizando a matriz contendo o composto de interesse, softwares como Microsoft Excel podem calcular os parâmetros da curva e a estimativa do desvio padrão relativo destes parâmetros.

- Limite de quantificação (LQ)

O limite de quantificação é a menor quantidade do analito em uma amostra que pode ser determinada com precisão e exatidão aceitáveis sob as condições

experimentais estabelecidas. O limite de quantificação é um parâmetro determinado, principalmente, para ensaios quantitativos de impurezas, produtos de degradação em fármacos e produtos de degradação em formas farmacêuticas e é expresso como concentração do analito (por exemplo, porcentagem p/p ou p/V, partes por milhão) na amostra (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2003).

Para Ribani et al. (2004), os mesmos critérios de LD podem ser adotados para o LQ, utilizando a relação 10:1, ou seja, o LQ pode ser calculado utilizando o método visual, a relação sinal-ruído ou a relação entre a estimativa do desvio padrão da resposta (s) (que pode ser a estimativa do desvio padrão do branco, da equação da linha de regressão ou do coeficiente linear da equação) e a inclinação da curva analítica (S), em níveis próximos ao LQ, a partir da equação:

$$LQ = 10 \times \frac{s}{S} \quad (8)$$

Ainda para Ribani et al. (2004), o melhor caminho para resolver este problema do cálculo do LD e LQ é utilizar o método baseado nos parâmetros da curva analítica, que é estatisticamente mais confiável.

- Precisão

De acordo com a (ANVISA) e o (INMETRO), a precisão é normalmente determinada para circunstâncias específicas de medição e as três formas mais comuns de expressá-la são: por meio da repetitividade, precisão intermediária e da reprodutibilidade, sendo usualmente expressas pelo desvio padrão e coeficiente de variação. O coeficiente de variação CV (usualmente expresso em %), também conhecido como desvio padrão relativo (DPR), é calculado da seguinte forma:

$$CV = DPR = \frac{DP}{CMD} \times 100 \quad (9)$$

Sendo: DP = desvio-padrão; CMD = concentração média determinada.

As condições de repetitividade podem ser caracterizadas utilizando: o mesmo procedimento de medição; mesmo observador; mesmo instrumento, usado sob mesmas condições; mesmo local, e repetições no menor espaço de tempo possível. A repetitividade pode ser expressa quantitativamente em termos da característica da dispersão dos resultados e determinada por meio da análise de padrões, material de

referência ou adição do analito ao branco da amostra, em várias concentrações na faixa de trabalho. (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2003).

Ribani et al.(2004) nos diz que de acordo com a ANVISA a repetitividade deve ser verificada a partir de um mínimo de nove determinações cobrindo o limite especificado do procedimento (ex.: três níveis, três repetições cada um), ou a partir de um mínimo de seis determinações a uma concentração similar ao valor esperado.

É importante ressaltar que a precisão do método, avaliada através da repetitividade é investigada pela análise das amostras controle de qualidade preparadas em replicatas para cada concentração, enquanto que a precisão instrumental avalia uma sequencia de, no mínimo, 10 injeções de uma única amostra (RIBANI et al., 2004).

Seguindo as orientações do INMETRO, a precisão intermediária, refere-se à precisão avaliada sobre a mesma amostra, amostras idênticas ou padrões, utilizando o mesmo método, no mesmo laboratório, mas definindo exatamente quais as condições a variar (uma ou mais), tais como: diferentes analistas; diferentes equipamentos; diferentes tempos.

- Exatidão

A exatidão de um método analítico é a proximidade dos resultados obtidos pelo método em estudo em relação ao valor verdadeiro. (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2003).

De acordo com a ANVISA, várias metodologias para a determinação da exatidão estão disponíveis:

- Aplicando-se a metodologia analítica proposta na análise de uma substância de pureza conhecida (padrão de referência); adição; recuperação; amostras certificadas, etc.
- Comparação dos resultados obtidos com aqueles resultantes de uma segunda metodologia bem caracterizada, cuja exatidão tenha sido estabelecida

Ainda de acordo com a ANVISA, a exatidão pode ser verificada a partir de, no mínimo, nove determinações contemplando o intervalo linear do procedimento, ou seja, três concentrações, baixa, média e alta, com três réplicas cada.

Segundo a ANVISA a exatidão é expressa pela relação entre a concentração média determinada experimentalmente e a concentração teórica correspondente:

$$\text{Exatidão} = \frac{\text{concentração média experimental}}{\text{concentração teórica}} \times 100 \quad (10)$$

4.6.2 Tratamentos estatísticos

Raramente os resultados experimentais estão de acordo com aqueles previstos por um modelo teórico, sendo assim os cientistas e pesquisadores frequentemente devem julgar se as diferenças numéricas são resultados de erros aleatórios (inevitáveis em todas as medidas) ou de erros sistemáticos (erros instrumentais, pessoais ou de método). Certos testes estatísticos são úteis no aprimoramento desses julgamentos, para minimizar os efeitos desses erros (HOLLER; SKOOG; CROUCH, 2009), como, por exemplo, o teste de hipóteses.

O teste de hipóteses serve de base para muitas decisões tomadas em trabalhos científicos e de engenharia, para explicar uma observação, um modelo hipotético é proposto e testado experimentalmente para avaliar sua validade. Se os resultados desses experimentos não dão suporte para o modelo, nós o rejeitamos e procuramos outra hipótese. Se houver concordância, o modelo hipotético serve de base para experimentos posteriores. Quando a hipótese é suportada por dados experimentais suficientes, ela se torna reconhecida como uma teoria útil até que novos dados possam contestá-la (SKOOG et al., 2006, p.138).

Os testes de hipótese fazem uso da hipótese nula ($H_0: \mu_0 = \mu_1$), a qual considera que as quantidades numéricas que estão sendo comparadas são de fato, iguais. Então, utiliza-se a distribuição de probabilidades para calcular a probabilidade de que as diferenças observadas sejam resultado de erros aleatórios. Normalmente, se a diferença observada for maior ou igual a 5% (um nível de significância de 0,05), a hipótese nula é considerada questionável, e a diferença significativa (HOLLER; SKOOG; CROUCH, 2009).

4.6.2.1 Parâmetros estatísticos

- Valor médio e desvio padrão

A média aritmética, \bar{X} , é a soma dos valores medidos dividida por n, número de medidas (HARRIS, 2001).

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (11)$$

O desvio padrão, s , mede a proximidade dos dados agrupados em torno da média. Quanto menor for o desvio padrão, mais perto os dados estarão agrupados em torno da média. (HARRIS, 2001).

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (12)$$

O desvio padrão ao quadrado s^2 é chamado de variância (HARRIS, 2001).

4.6.2.2 Teste t de Student

Este teste é usado para amostra pequenas, e seu propósito é comparar a média de uma série de resultados com um valor de referência e exprimir o nível de confiança associado a comparação, o teste t também é usado para testar a diferença entre as médias de dois conjuntos de resultados. O valor de t é obtido pela equação (MENDHAN et al., 2002):

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{N}}} \quad (13)$$

Sendo: \bar{X} = média ; μ = valor verdadeiro ; s = desvio-padrão; N = número de determinações.

O teste estatístico é comparado com o valor crítico de t obtido a partir de tabelas, se o valor de t encontrado for menor que o t tabelado nos indica que não há diferença significativa entre as medidas. (SKOOG et al., 2006)

- Teste t emparelhado

Outro método de validar um novo procedimento é comparar os resultados obtidos usando amostras de composição variável com os resultados obtidos por um

método já aceito. Neste caso, calculam-se as diferenças d entre cada par de resultados e obtém-se a média das diferenças \bar{d} determinado-se o valor de t pela equação.

$$t = \frac{\bar{d} \sqrt{N}}{S_d} \quad (14)$$

Sendo: \bar{d} = média das diferenças; N = número de amostras; S_d = desvio padrão das diferenças. (MENDHAN et al., 2002)

De acordo com Mota (2010), o teste t emparelhado tem sido extensivamente usado para verificar a confiabilidade de dados de sistemas *home-made* (sistemas produzidos artesanalmente). Sendo assim as amostras são analisadas tanto no sistema proposto quanto em outro considerado padrão, geralmente o aparelho similar comercialmente disponível. A ideia é verificar se há ou não diferença na resposta, ou no desempenho dos pares.

4.6.2.3 Teste F

Muitas vezes é necessário comparar as variâncias ou desvio padrão de dois métodos, podendo-se aplicar um teste estatístico simples, chamado teste F, que é definido como a razão entre as duas variâncias das amostras (SKOOG et al., 2006).

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (15)$$

O maior valor de s é sempre colocado no numerador, o que faz com que o valor de F seja sempre maior que uma unidade. A significância do valor de F é verificada por comparação com valores de F determinados (tabelados), se o valor de F calculado for menor que o valor de F tabelado não há diferença significativa entre os resultados. (SKOOG et al., 2006)

4.6.3 Utilização de planilhas eletrônicas

Com a revolução do computador pessoal nos últimos 20 anos tem-se produzido muitas ferramentas úteis para químicos e outros cientistas, sendo assim um dos maiores exemplos desses aplicativos são as planilhas de cálculo, que são

versáteis, poderosas e fáceis de usar, podendo ser utilizadas na manutenção de registros, cálculos matemáticos, análise estatística, ajustes de curvas, plotagem de gráficos, gerenciamento de dados e uma infinidade de outras tarefas. Os programas de planilhas de cálculo possuem inúmeras funções embutidas para auxiliar na realização de cálculos envolvendo Química Analítica (SKOOG et al., 2006).

Uma planilha eletrônica é uma ferramenta poderosa para manipulação de dados quantitativos podendo nos ajudar, por exemplo, a examinar curvas de titulação e concentrações de espécies em equilíbrio que dependem de aritmética, as planilhas ainda podem nos ajudar a construir gráficos dos nossos resultados (HARRIS, 2001).

De acordo com Ribeiro et al. (2008) , ferramentas que permitem a estimativa das figuras de mérito de maneira rápida e segura são de grande utilidade. Existem disponíveis no mercado atualmente diversos softwares comerciais para validação de métodos, como o *EffiValidation*, o *Method Validation Pack* da Agilent e o *Validation Manager*. Para Ribeiro et al. (2008) uma forma alternativa aos softwares comerciais para a etapa de validação de métodos é a utilização de planilhas eletrônicas como o Microsoft Excel.

Para Oliveira et al. (2007), a escolha do software Microsoft Excel deve-se a vários fatores, o primeiro, é que há uma ampla presença desse programa nos computadores pessoais, de universidades e de empresas. Além disso, esse software permite a construção de gráficos e a realização de outros cálculos utilizando-se diretamente o resultado da simulação e apresenta uma interface muito amigável. Além dessas vantagens, os dados obtidos podem ser facilmente transferidos a outros programas computacionais, tais como o Microcal Origin.

Diante de todas as vantagens e facilidades em utilizar planilhas eletrônicas, utilizaremos para o tratamento estatístico da avaliação do desempenho do fotômetro desenvolvido o Microsoft Excel. Sabemos que nem todas as escolas e professores iram dispor do Microsoft Excel que é um software pago, mas existem outras planilhas eletrônicas para download na internet que são gratuitas, como por exemplo, OpenOffice Calc, que pode substituir perfeitamente Microsoft Excel.

5 O FOTÔMETRO DESENVOLVIDO

O fotômetro de baixo custo, desenvolvido neste trabalho, permite realizar medidas qualitativas e quantitativas em vários comprimentos de onda na região do visível. Todos os materiais utilizados na construção do fotômetro são de baixo custo e fácil aquisição podendo qualquer professor de Química, da Educação Básica, construir em sua escola. Para uma experimentação de forma contextualizada no ensino de Química, a Figura 23 mostra o esquema dos dispositivos do fotômetro.

Figura 23 – Esquema dos principais dispositivos do fotômetro desenvolvido



Fonte: (AUTOR, 2014).

5.1 Dispositivos do Fotômetro Desenvolvido

5.1.1 Descrição da fonte de alimentação

A fonte de alimentação consiste em uma fonte chaveada externa onde a tensão de entrada pode variar desde 100V a 240 V ac e é capaz de fornecer uma corrente de até 1000mA. Com a utilização deste tipo de fonte, economiza-se espaço físico, gastos com fonte convencional além da facilidade de ser uma fonte onde não há a preocupação com a tensão de entrada, se 110V ou 220V.

Figura 24 – Fonte chaveada

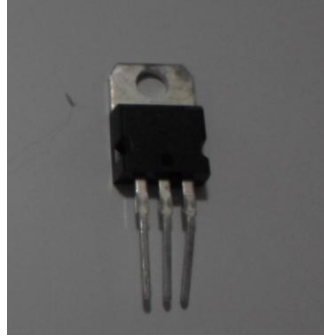


Fonte: (AUTOR, 2014).

Esta fonte de alimentação vai energizar um regulador de tensão que é um dispositivo formado por semicondutores, que tem a função de manter a tensão de saída de um circuito elétrico, mantendo a tensão produzida pela fonte de

alimentação dentro dos limites exigidos pelo circuito de acordo com o consumo dos componentes (SILVA, 2011). O regulador de tensão utilizado foi um CI 7808, o qual mantém a tensão constante de 8V cc no circuito do “fotômetro”, para evitar quaisquer oscilações na alimentação.

Figura 25 – Regulador de tensão CI7808



Fonte: (AUTOR, 2014).

5.1.2 Descrição da fonte de radiação

A fonte de radiação propriamente dita é composta de um LED (Diodo emissor de luz), a escolha de LEDs como fonte de radiação se deve a algumas vantagens como: podem ser encontrados comercialmente em diversos formatos, capacidade de utilização em diversas condições de uso e configurações dos circuitos eletrônicos, tempo de vida elevado – na faixa de 20.000 a 100.000 horas, baixo consumo de energia, baixo custo variando de centavos a poucos reais, potência elevada na faixa de 10 a 150 mW, largura efetiva de banda estreita, ruído associado baixo, facilidade de aquisição, podem ser encontrados em empresas de comércio eletrônico, inclusive em cidades de porte intermediário. Por essas características, os LEDs são utilizados como fonte de radiação em diferentes técnicas instrumentais (VERAS NETO, 2008).

Figura 26 – LED



Fonte: (AUTOR, 2014).

O LED irá enviar um feixe luminoso através da solução a ser analisada, o LED utilizado poderá ser substituído por LEDs de cores variadas, permitindo que o fotômetro possa realizar análises em comprimentos de ondas diferentes. Para facilitar a substituição dos LEDs, utilizamos um suporte para LEDs e um conector .

Figura 27 – Conector, LED , suporte para LED



Fonte: (AUTOR, 2014).

Figura 28 – LED conectado



Fonte: (AUTOR, 2014).

5.1.3 Recipiente para amostra

Como porta recipiente, foi utilizado um pedaço de tubo PVC de $\frac{1}{2}$ polegada ou 20mm e duas luvas de PVC de $\frac{1}{2}$ polegada com rosca nas extremidades do tubo. Como recipiente para amostra, foi utilizado um (1) tubo de ensaio com tampa de rosca.

Figura 29 – Porta recipiente e recipiente para amostra



Fonte: (AUTOR, 2014).

5.1.4 Descrição do transdutor de radiação

A etapa de detecção de radiação consiste em um LDR, que é um fotoresistor que varia sua resistência de acordo com a incidência de luz. Esse componente não só informa se há ou não luz sobre ele, mas o quanto de luz há: pequenas variações na intensidade da luz irão provocar pequenas variações no valor da resistência, permitindo, assim, saber exatamente o quanto de intensidade luminosa há sobre um LDR (TORRES, 2002 apud MOTA, 2010).

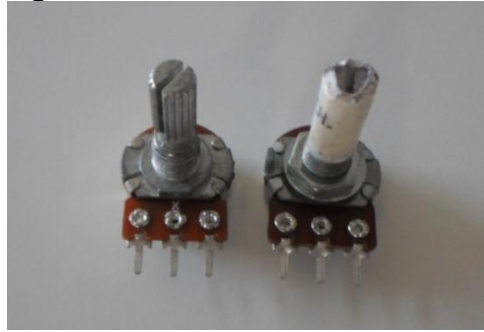
Figura 30 – LDR



Fonte: Autor, 2014.

No fotômetro, o LDR é alimentado por um resistor limitador de corrente. Na junção deste resistor com o LDR, será derivada a saída para um dos polos do sistema de medição. A outra saída do sistema de medição será retirada de um divisor resistivo composto de dois (2) potenciômetros para ajustes de sensibilidade, sendo um potenciômetro de valor maior (10K Ω) para o ajuste grosso e um de valor menor (1K Ω) para o ajuste fino.

Figura 31 – Potenciômetros 10K Ω e 1K Ω respectivamente



Fonte: (AUTOR, 2014).

5.1.5 Descrição do dispositivo de leitura

Esse sistema baseia-se na utilização de parte de um multímetro, a parte de medição de corrente. Conectando-se os polos do multímetro nas derivações de sinal do circuito detector e posicionando-o na escala de “Miliamperes” tem-se a leitura de sinal de forma digital. Essa leitura será ajustada pelos dois potenciômetros de ajuste de nível para uma visualização mais precisa.

Figura 32 – Multímetro digital

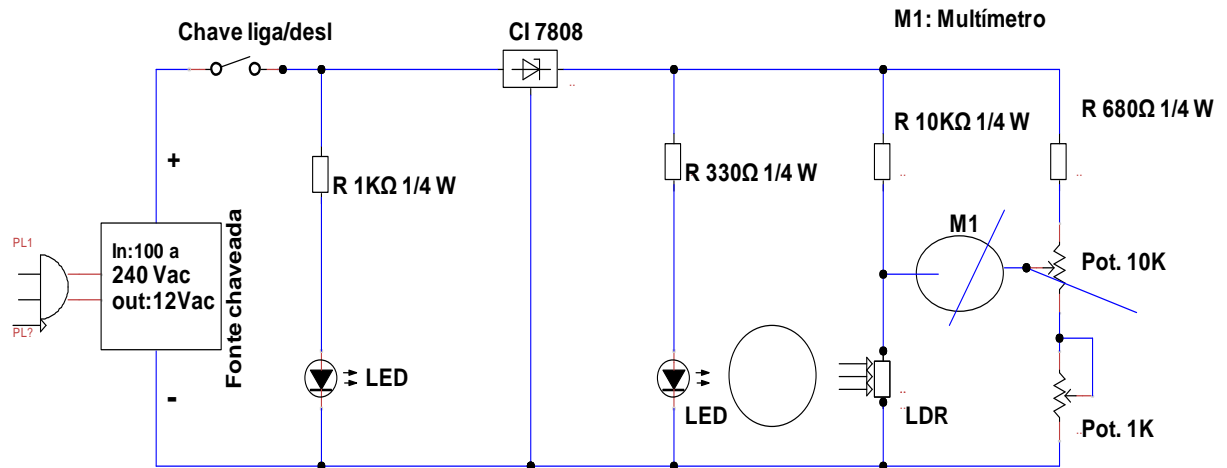


Fonte: (AUTOR, 2014).

5.2 Descrição do circuito elétrico

No circuito abaixo, pode-se observar a quantidade de componentes utilizados. A fonte chaveada externa é constituída de uma fonte compacta onde seus componentes estão instalados. Essa fonte é adquirida no comércio especializado. Os demais componentes estão distribuídos na caixa em sua parte interior, ficando à mostra apenas os bornes de conexão do multímetro, a chave liga/desliga com o LED de sinalização e os dois potenciômetros de ajustes.

Figura 33 – Circuito elétrico



Fonte: (AUTOR, 2014).

5.3 Descrição da construção do fotômetro

Para a fixação da fonte de radiação, do recipiente para amostra e do transdutor de radiação, utilizamos uma caixa de PVC com as seguintes dimensões: 14,5cm de comprimento, 14,5cm de largura e 7cm de altura. Essa caixa tem a vantagem de ser toda fechada e não possuir frestas para entrada da luz externa. Esse tipo de caixa pode ser encontrado facilmente em qualquer loja de material para construção.

Figura 34 – Caixa de PVC



Fonte: (AUTOR, 2014).

Para facilitar a montagem do fotômetro, o circuito eletrônico foi montado na tampa da caixa de PVC. Os potenciômetros de 1kΩ e 10kΩ para o ajuste fino e grosso do sinal de saída e ao lado dos potenciômetros foram fixados dois bornes, um preto e um vermelho, para conexão com os terminais do multímetro. No centro

da tampa de PVC, fixamos o tubo de PVC que funcionara como suporte para o recipiente da amostra, a ser analisada.

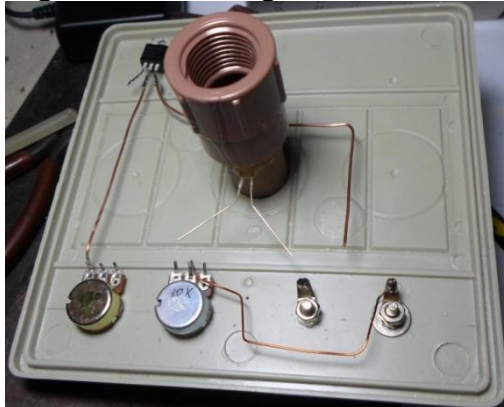
Figura 35 – Fixação dos componentes na tampa



Fonte: (AUTOR, 2014).

Após fixar os componentes da figura acima, perfurou-se o tubo de PVC em dois pontos, um de frente para o outro, onde foram fixados o suporte para o LED (fonte de Radiação) e na outra extremidade o LDR (transdutor de radiação), e foi fixado o circuito elétrico com fio de cobre, ligando os componentes com o regulador de tensão CI7808.

Figura 36 – Montagem do circuito 1

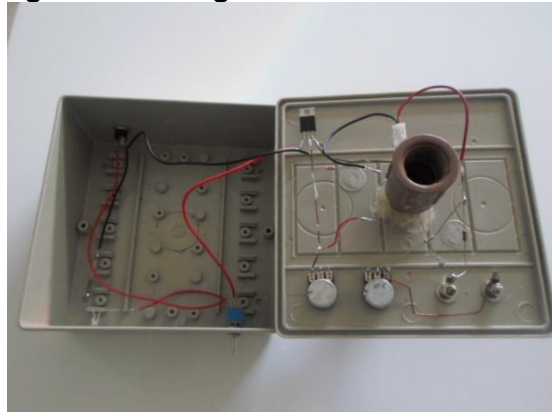


Fonte: (AUTOR, 2014).

Figura 37 – Montagem do circuito 2

Fonte: (AUTOR, 2014).

Para concluir o circuito elétrico fixo na tampa de PVC , foram ligadas as resistências de 330Ω para o LED, $10K\Omega$ para o LDR, e 680Ω para o potenciômetro de $10K\Omega$. Na parte interna da caixa de PVC, foram fixados um conector para a fonte de alimentação, uma chave liga desliga e um LED para indicar que o instrumento esta ligado.

Figura 38 – Imagem interna do fotômetro

Fonte: (AUTOR, 2014).

Figura 39 – Imagem externa do fotômetro



Fonte: (AUTOR, 2014).

Figura 40 – Fotômetro desenvolvido com todos os componentes



Fonte: (AUTOR, 2014).

5.4 Custo do instrumento desenvolvido

A seguir é apresentado no Quadro 2 a lista com os custos dos componentes do espectrofotômetro desenvolvido:

Quadro 2 – Lista de Custos do instrumento desenvolvido

Componentes	Quantidade	Valor total em R\$
Bornes para fonte	2	R\$ 5,00
Caixa de PVC	1	R\$ 11,30
Chave liga desliga	1	R\$ 4,00
Ci 7808	1	R\$ 1,50
Conector para LED	1	R\$ 2,00
Conector fêmea para fonte chaveada		R\$ 4,00
Fonte Chaveada 12V	1	R\$ 19,00
LDR	1	R\$ 3,50
LED	2	R\$ 1,48
Luvas de PVC	2	R\$ 1,14
Multímetro digital	1	R\$ 13,00
Potenciômetro 10K	1	R\$ 2,00
Potenciômetro 1K	1	R\$ 1, 50
Suporte para LED	1	R\$ 0,30
Tubo de ensaio com tampa	1	R\$4,00
	Total	72,22 R\$

Fonte: (AUTOR, 2014).

6 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO FOTÔMETRO DESENVOLVIDO

6.1 Parte experimental

6.1.1 Reagentes

Utilizou-se alaranjado de metila PA ACS (CI 13025) fabricado pela Vetec e água deionizada ultrapurificada obtida por Milli-Q AQUELIX 5.

6.1.2 Equipamentos

Os equipamentos utilizados foram: fotômetro desenvolvido utilizando como fonte de radiação um LED azul de alto brilho adquirido em lojas de componentes eletrônicos, pico máximo de comprimento de onda entre 460nm a 470 nm; balança analítica SHIMADZU, modelo AUY220; Espectrofotômetro GEHAKA modelo UV-380G; purificador AQUELIX 5 e Agitador Magnético com Aquecimento Nova Instruments, modelo NI 1102.

Figura 41 – a) balança analítica ; b) espectrofotômetro UV-380G; c) purificador



Fonte: (AUTOR, 2014).

6.1.3 Soluções padrão

A solução estoque padrão foi obtida pesando 10 mg de alaranjado de metila, que foram transferidas para um becker de 500 ml e solubilizado em 400ml em água deionizada ultrapurificada obtida por Milli-Q Millipore, esta solução foi aquecida e agitada até completa solubilização. Por fim, após resfriamento da solução à temperatura ambiente, o volume foi transferido para um balão volumétrico de 500,00

ml, e completado o volume com água deionizada ultrapurificada . A concentração final da solução foi de 20 mg L⁻¹.

Partindo da solução estoque do padrão de alaranjado de metila (20mg L⁻¹), foram preparadas em triplicata por diluição com água deionizada ultrapurificada soluções nas concentrações de 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 10; 11; 12mgL⁻¹. As soluções foram aquecidas e agitadas, após o resfriamento as soluções foram mantidas em estoque à temperatura ambiente por um dia para estabilização da cor, no dia seguinte foram construídas as curvas de calibração.

Figura 42 – Soluções padrão



Fonte: (AUTOR, 2014).

6.2 Avaliação das Figuras de Mérito

6.2.1 Avaliação da linearidade entre curvas analíticas do fotômetro desenvolvido

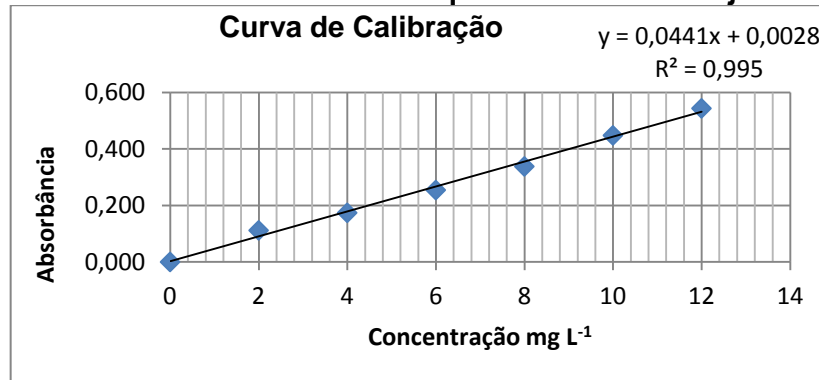
A linearidade foi determinada pela construção e análise da curva de calibração. A curva de calibração foi preparada a partir das soluções em triplicata ,nas concentrações de 0; 2; 4; 6; 8; 10; 12mgL⁻¹ . Os sinais analíticos no multímetro digital foram medidos em (V). A partir dos sinais analíticos obtidos, aplicando-se a Lei de Berr-Lambert, foram calculadas a transmitância ($T=P/P_0$) e Absorbância ($A=\log P_0/P$). A curva de calibração foi construída a partir das médias das absorbâncias, através do método dos mínimos quadrados utilizando o software microsoft excel 2007.

Tabela 1 – Curva analítica do alaranjado de metila para $n=3 \pm DP$

Amostra	Concentração mg L^{-1}	Média dos valores do sinal analítico em (V)	Média Absorbância
1	0	$4,50 \pm 0,01$	$0,000 \pm 0,001$
2	2	$3,92 \pm 0,01$	$0,112 \pm 0,001$
3	4	$3,39 \pm 0,01$	$0,174 \pm 0,001$
4	6	$2,82 \pm 0,01$	$0,255 \pm 0,001$
5	8	$2,32 \pm 0,01$	$0,338 \pm 0,002$
6	10	$1,80 \pm 0,01$	$0,448 \pm 0,003$
7	12	$1,45 \pm 0,01$	$0,544 \pm 0,002$

Fonte: (AUTOR, 2014).

Nota: DP= Desvio padrão.

Figura 43 – Curva analítica mínimos quadrados do alaranjado de metila

Fonte: (AUTOR, 2014).

A análise de regressão linear dos mínimos quadrados apresentou um coeficiente de correlação R^2 de 0,995, indicando linearidade dentro dos limites das concentrações estudadas, obtendo-se a equação da reta $y = 0,0441x + 0,0028$. figura 43

No entanto, este resultado não pode ser usado isoladamente para se testar a linearidade. Para isso foi utilizada a ferramenta análise de variância da regressão (ANOVA) disponível software microsoft excel 2007 quadro 3, a significância estatística da curva é feita pelo teste F. Para isso foi utilizada a análise de variância da regressão (ANOVA) para se confirmar a linearidade da curva. Para esta curva, o valor de $F_{\text{calculado}} (=994,6) > F_{\text{de significação}} (=0,000000602)$, o que demonstra a significância da regressão e ratifica a linearidade da faixa de trabalho estudada.

Quadro 3 – Resultado análise de regressão linear software Microsoft Excel 2007

RESUMO DOS RESULTADOS					
<i>Estatística de regressão</i>					
R múltiplo		0,99749577			
R-Quadrado		0,99499782			
R-quadrado ajustado		0,99399738			
Erro padrão		0,01479562			
Observações		7			
ANOVA					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	0,217720177	0,21772	994,563466	0,000000602
Resíduo	5	0,001094551	0,00022		
Total	6	0,218814729			

Fonte: (AUTOR, 2014).

6.2.2 Limites de detecção (LD) e quantificação (LQ)

Os limites de detecção (LD) e de quantificação (LQ) foram calculados utilizando dados da regressão da curva de calibração. A equação da reta nesta faixa de trabalho é $y = 0,0441x + 0,0028$. O cálculo destes limites forneceu os valores de $LD = 0,68 \text{ mg L}^{-1}$ e $LQ = 2,27 \text{ mg L}^{-1}$.

6.2.3 Avaliação da precisão

6.2.3.1 Repetitividade

O parâmetro repetitividade foi estimado em três níveis de concentração de 3; 7; 11 mg L^{-1} , para valores de concentração na primeira metade da curva de calibração, outro na região intermediária e outro na segunda metade, sempre em triplicata.

Tabela 2 – Resultados do estudo da precisão (Repetitividade)

amostras	concentração 1	concentração 2	concentração 3	DP	CV(%)
am1	3,14	3,12	3,17	0,0267201	0,85
am2	6,64	6,68	6,75	0,0591253	0,88
am3	11,08	11,02	11,08	0,0347751	0,31

Fonte: (AUTOR, 2014).

Nota: DP= desvio padrão n=3 , CV= coeficiente de variação.

A repetitividade permite inferir sobre a precisão entre análises realizadas em curto espaço de tempo, usando desvio padrão ou coeficiente de variação. Nas análises de repetitividade, os valores de CV apresentam valores máximos inferiores a 1%, indicando boa precisão do método.

6.2.3.2 Precisão intermediária

Para o parâmetro Precisão Intermediária, foram analisadas em dias diferentes amostras em três níveis de concentração de 3; 7; 11mgL⁻¹, para valores de concentração na primeira metade da curva de calibração, outro na região intermediária e outro na segunda metade, sempre em triplicata, os resultados estão na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados do estudo da precisão intermediária n=3 ± DP

Amostras	1º dia		2º dia	
	CMD mg L ⁻¹	CMD mg L ⁻¹	DP	CV
1	3,14 ± 0,03	3,11 ± 0,02	0,0253	0,81
2	6,69 ± 0,06	6,59 ± 0,04	0,0726	1,09
3	11,06 ± 0,03	11,00 ± 0,03	0,0425	0,39

Fonte: (AUTOR, 2014).

Nota: CMD = concentração média determinada n=3 ,DP= desvio padrão , CV= coeficiente de variação

Quadro 4 – Resultado teste F software Microsoft Excel 2007

Teste-F: duas amostras para variâncias	1º dia	2º dia
Média	6,964662	6,898497
Variância	15,73479	15,6546
Observações	3	3
gl	2	2
F	1,005122	
P(F<=f) uni-caudal	0,498723	
F crítico uni-caudal	19	

Fonte: (AUTOR, 2014).

Na precisão intermediária foi demonstrado que o método é preciso para análises realizadas em dias diferentes, estando a variação encontrada dentro dos limites especificados, pois através do tratamento estatístico teste F Quadro 4 (Teste-F: duas amostras para variâncias) disponível no Excel revelou que não existe diferença significativa entre os resultados da Tabela ao nível de 95% de confiança

estatística. Verificando que $F_{\text{calculado}} = 1 < F_{\text{crítico}} = 19$, podemos ainda observar que $P(F \leq f)$ uni-caudal $> 0,05$ confirmando a hipótese que os resultados obtidos em dias diferentes não apresentam diferença significativa a nível de 95% de confiança.

6.2.3.3 Precisão instrumental

A avaliação da Precisão Instrumental foi feita mediante 10 leituras de uma mesma amostra, apresentando um valor médio \pm desvio padrão de $6,66 \pm 0,0036 \text{ mg L}^{-1}$, com CV de 0,55, valor satisfatório, sendo que o intervalo de leitura entre as medidas foi de aproximadamente 180 s.

Tabela 4 – Resultados do estudo da precisão instrumental

Leitura	Sinal Analítico (V)	Absorbância	Concentração mg L^{-1}
1	2,56	0,295	6,64
2	2,57	0,294	6,60
3	2,56	0,295	6,64
4	2,56	0,295	6,64
5	2,55	0,297	6,68
6	2,55	0,297	6,68
7	2,54	0,299	6,71
8	2,55	0,297	6,68
9	2,54	0,299	6,71
10	2,55	0,297	6,68
Média	2,55	0,300	6,66
DP	0,0095	0,0016	0,036
CV(%)	0,37	0,54	0,55

Fonte: Autor, 2014.

Nota: DP= desvio padrão, CV= coeficiente de variação.

O conjunto de resultados (repetitividade, precisão intermediária e precisão instrumental) demonstram que o fotômetro possui precisão satisfatória dentro da faixa de concentração avaliada.

6.2.3.4 Avaliação da exatidão

Para avaliação do parâmetro exatidão, foram analisadas amostras padrão em cinco níveis de concentração 3; 5; 7; 9; 11 mg L^{-1} . Obtendo-se os seguintes resultados apresentados na tabela 5.

Tabela 5 – Resultados da exatidão para cinco níveis de concentrações diferentes para $n=3 \pm DP$

Amostras		Protótipo	
Concentração teórica	Concentração	média experimental	Exatidão %
3 mg L ⁻¹		3,15 ± 0,02	105,1
5 mg L ⁻¹		4,77 ± 0,02	95,4
7 mg L ⁻¹		6,69 ± 0,06	95,6
9 mg L ⁻¹		8,84 ± 0,03	98,2
11 mg L ⁻¹		11,08 ± 0,01	100,7

Fonte: (Autor, 2014).

Nota: DP= desvio padrão, CV= coeficiente de variação

Quadro 5 – Resultado teste T *student* software Microsoft Excel 2007

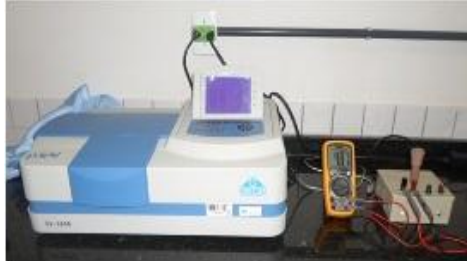
Teste-t: duas amostras em par para médias		
	Concentração teórica	Concentração obtida
Média	7	6,906222914
Variância	10	9,956976506
Observações	5	5
Correlação de Pearson	0,998023448	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	1,055177667	
P(T<=t) uni-caudal	0,175430145	
t crítico uni-caudal	2,131846782	
P(T<=t) bi-caudal	0,350860291	
t crítico bi-caudal	2,776445105	

Fonte: (AUTOR, 2014).

Em relação à exatidão os resultados apresentaram valores entre 95% e 105% sendo aceitos já que não apresentaram desvio superior a 15% de acordo com a ANVISA “desvio não deve exceder 15%, exceto para o limite de quantificação, para o qual se admite desvios menores ou iguais a 20%”. A aplicação do teste *t* emparelhado quadro 5 (Teste-t: duas amostras em par para médias.) disponível no Excel revelou que não existe diferença significativa entre os resultados da tabela 8 ao nível de 95% de confiança estatística. Verificando que $T_{\text{calculado}} = 1,05 < T_{\text{crítico}} = 2,77$ podemos ainda observar que $P(F<=f)$ Podemos observar que $P(T<=t)$ bi-caudal $0,35 > 0,05$ confirmando a hipótese que os resultados obtidos com o fotômetro desenvolvido não apresentam diferença significativa a nível de 95% de confiança, em relação aos valores teóricos.

6.3 Comparação entre os Resultados: utilizando o fotômetro desenvolvido e o Espectrofotômetro comercial GEHAKA UV-380G

Figura 44 – Espectrofotômetro UV-380G e fotômetro desenvolvido



Fonte: (AUTOR, 2014).

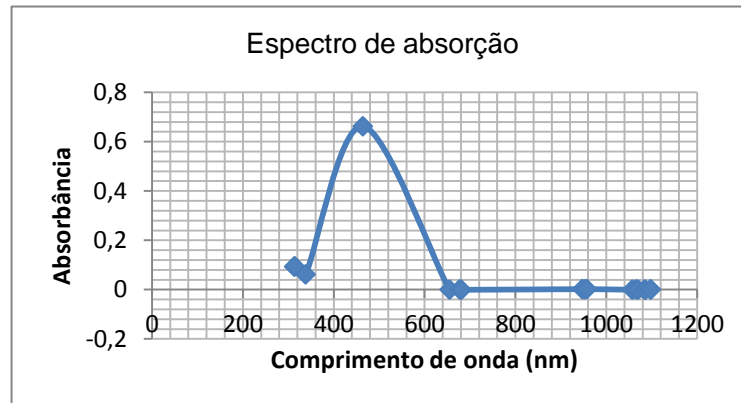
Para avaliação do desempenho do fotômetro desenvolvido, foi realizada a comparação entre os resultados obtidos com o instrumento desenvolvido e um espectrofotômetro comercial da marca GEHAKA modelo: UV-380G, sendo que este foi operado na faixa de comprimento de onda de 464nm, determinado após a varredura da solução padrão de alaranjado de metila onde foi observado o pico máximo de absorbância 464 nm de acordo com a Figura 45.

Tabela 6 – Resultado varredura alaranjado de metila espectrofotômetro UV – 380G

Comprimento de onda nm	absorbância	Comprimento de onda nm	absorbância
302	0	952	0,0012
313	0,0932	957	0,0024
314	0,0946	1057	-0,0001
338	0,062	1065	0,0009
464	0,6625	1070	0
655	0,0001	1084	0,0004
677	0,0011	1086	-0,0009
681	-0,0004	1097	0,0009
947	0,0022	1098	0,0007

Fonte: (AUTOR, 2014).

Figura 45 – Espectro de absorção alaranjado de metila medido varredura utilizando o espectrofotômetro UV 380G



Fonte: (AUTOR, 2014).

6.3.1 Comparação da linearidade entre os equipamentos

Para construção da curva de calibração do espectrofotômetro comercial foram utilizadas em triplicata, as soluções estoque nas concentrações de 0; 2; 4; 6; 8; 10; 12mgL⁻¹. A curva de calibração foi construída a partir das médias das absorbâncias, através do método dos mínimos quadrados utilizando o software microsoft excel 2007.

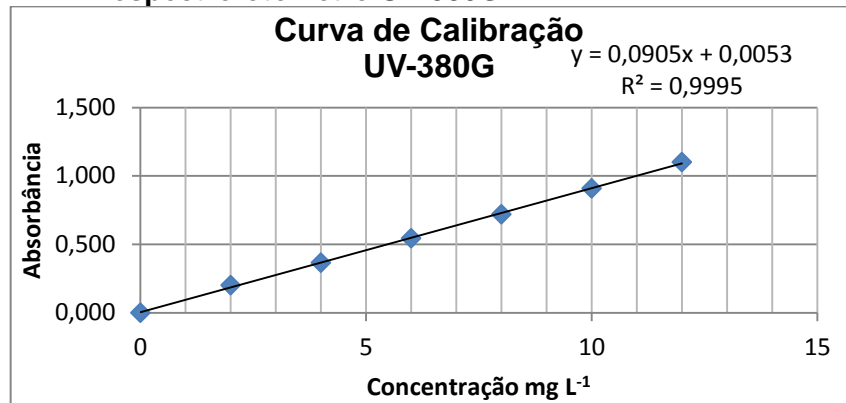
Tabela 7 – n Curva analítica do alaranjado de metila para n=3 ± DP

Amostra	Concentração mg L ⁻¹	Média Absorbância
1	0	0
2	2	0,201± 0,001
3	4	0,366± 0,001
4	6	0,544± 0,001
5	8	0,719± 0,001
6	10	0,909± 0,001
7	12	1,101± 0,001

Fonte: (AUTOR, 2014).

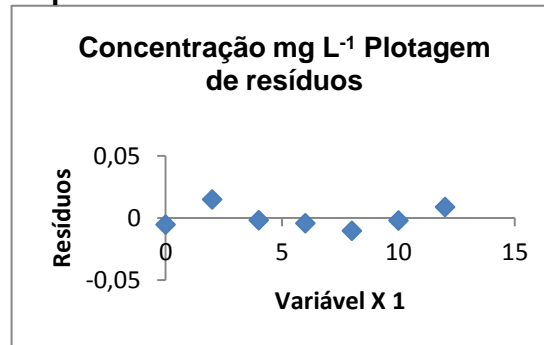
Nota: DP= Desvio padrão

Figura 46 – Curva analítica mínimos quadrados do alaranjado de metila espectrofotômetro UV-380G



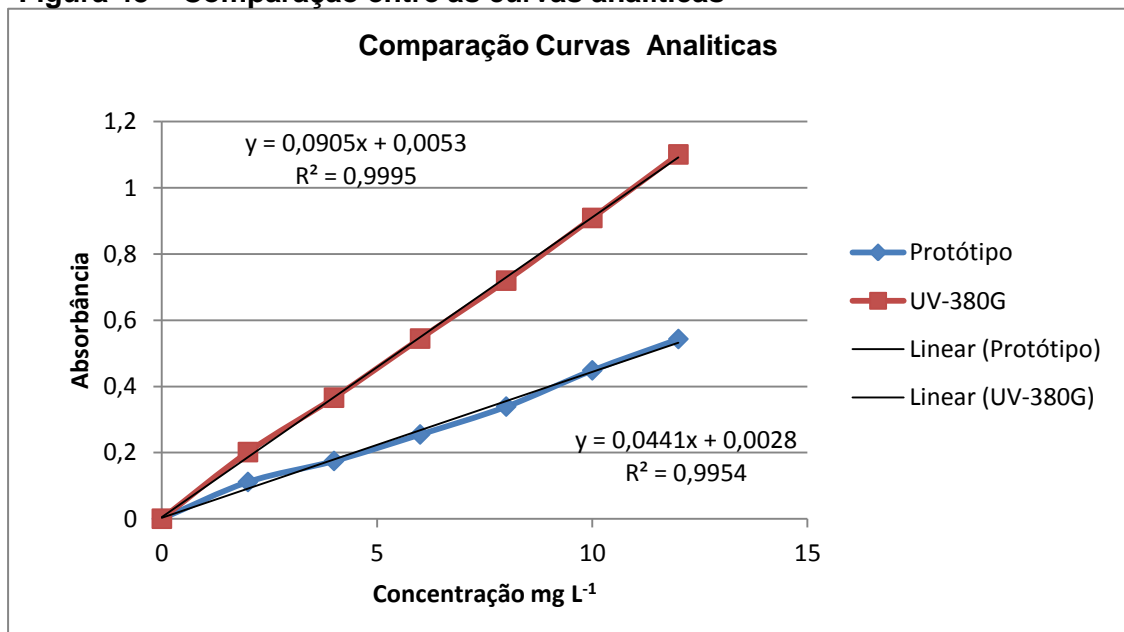
Fonte: (AUTOR, 2014).

Figura 47 – Resíduos regressão linear dos mínimos quadrados do alaranjado de metila espectrofotômetro UV-380G



Fonte: (AUTOR, 2014).

Figura 48 – Comparação entre as curvas analíticas



Fonte: (AUTOR, 2014).

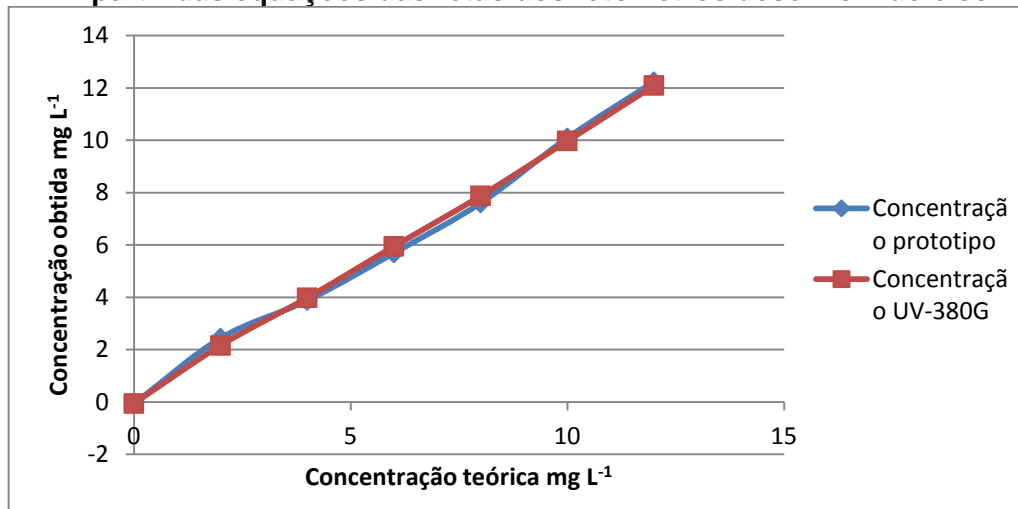
A comparação entre as análises de regressão linear dos mínimos quadrados para os equipamentos apresentaram coeficientes de correlação $R^2 = 0,995$ para o fotômetro desenvolvido e $R^2 = 0,999$ para o espectrofotômetro comercial, indicando linearidade dentro dos limites das concentrações estudadas para os dois equipamentos.

Tabela 8 – Concentração teórica e concentrações obtidas a partir das equações das retas dos fotômetros desenvolvido e comercial

Concentração ₁ mg/l ¹	Concentração prototipo mg/l ¹	Concentração UV-380G mg/l ¹
0	-0,063492063	-0,056291391
2	2,440710466	2,162251656
4	3,880928466	3,983443709
6	5,695826402	5,94812362
8	7,606199857	7,879690949
10	10,08719701	9,976821192
12	12,23477089	12,09602649

Fonte: (AUTOR, 2014).

Figura 49 – Comparação linearidade entre os resultados das concentrações obtidas a partir das equações das retas dos fotômetros desenvolvido e comercial



Fonte: (AUTOR, 2014).

Quadro 6 – Resultado teste F entre as concentrações obtidas a partir das equações das curvas analíticas software Microsoft Excel 2007

Teste-F: duas amostras para variâncias		
	Concentração prototipo	Concentração UV-380G
Média	5,983163004	5,998580889
Variância	18,69548413	18,66433965
Observações	7	7
gl	6	6
F	1,001668662	
P(F<=f) uni-caudal	0,499218467	
F crítico uni-caudal	4,283865714	

Fonte: (AUTOR, 2014).

Ainda comparando a linearidade entre os resultados dos equipamentos , foi aplicado o tratamento estatístico, entre as concentrações obtidas a partir das equações das curvas analíticas Tabela 10 , o teste F (Quadro 6) revelou que não existe diferença significativa entre os resultados da tabela ao nível de 95% de confiança estatística. Verificando que $F_{\text{calculado}} = 1 < F_{\text{crítico}} = 4,28$, podemos ainda observar que $P(F \leq f)$ uni-caudal $> 0,05$ confirmando a hipótese que os resultados obtidos nos equipamentos diferentes não apresentam diferença significativa a nível de 95% de confiança.

Quadro 7 – Comparação entre as concentrações obtidas a partir das equações das curvas analíticas

Teste-t: duas amostras em par para médias		
	<i>Concentração protótipo</i>	<i>Concentração UV-380G</i>
Média	5,983163004	5,998580889
Variância	18,69548413	18,66433965
Observações	7	7
Correlação de Pearson	0,99885687	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	6	
Stat t	-0,197359323	
P(T<=t) uni-caudal	0,425031238	
t crítico uni-caudal	1,943180274	
P(T<=t) bi-caudal	0,850062475	
t crítico bi-caudal	2,446911846	

Fonte: (AUTOR, 2014).

Também foi aplicado o teste *t* emparelhado quadro 7 , que nos mostra que não existe diferença significativa entre os resultados da tabela 8 ao nível de 95% de confiança estatística. Podemos observar que $P(T \leq t)$ bi-caudal $0,85 > 0,05$ confirmando a hipótese que os resultados de linearidade obtidos nos dois aparelhos não apresentam diferença significativa a nível de 95% de confiança.

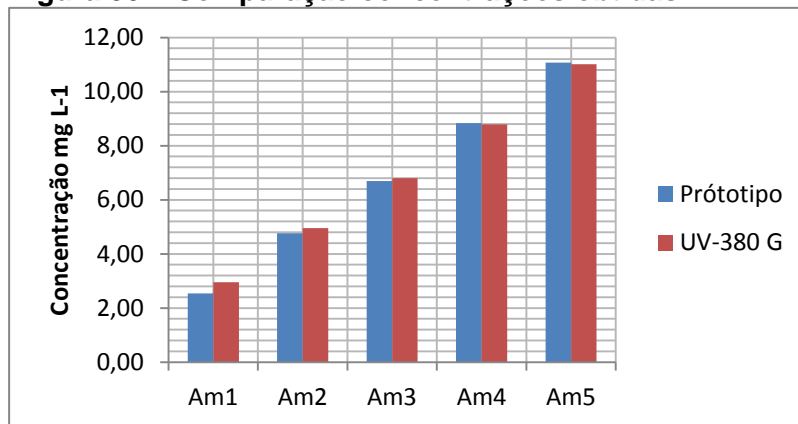
6.3.2 Comparação de Resultados da análise de amostras entre o fotômetro desenvolvido e o espectrofotômetro comercial GEHAKA UV-380G.

Para comparação dos resultados entre o fotômetro desenvolvido e o espectrofotômetro comercial UV-380G, foram analisadas em triplicata amostras padrão em cinco níveis de concentração 3; 5; 7; 9; 11mgL⁻¹, os resultados são apresentados na Tabela 9 .

Tabela 9 – Resultados análises de amostras

Amostras	Concentração teórica	Concentração média obtida mg L ⁻¹			
		Protótipo	UV 380 G	DP	CV
Am1	3 mg L ⁻¹	3,15 ± 0,02	2,95 ± 0,01	0,143	4,70
Am2	5 mg L ⁻¹	4,77 ± 0,02	4,95 ± 0,01	0,128	2,64
Am3	7 mg L ⁻¹	6,69 ± 0,06	6,79 ± 0,01	0,072	1,07
Am4	9 mg L ⁻¹	8,84 ± 0,03	8,78 ± 0,05	0,040	0,45
Am5	11 mg L ⁻¹	11,08 ± 0,01	11,01 ± 0,03	0,049	0,44

Fonte: (AUTOR, 2014).

Figura 50 – Comparação concentrações obtidas

Fonte: (AUTOR, 2014).

Quadro 8 – Resultado teste T entre as concentrações das amostras

Teste-t: duas amostras em par para médias		
	<i>prototipo</i>	<i>UV 380</i>
Média	6,906223	6,897351
Variância	9,956977	9,958722
Observações	5	5
Correlação de Pearson	0,998846	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	0,130872	
P(T<=t) uni-caudal	0,451097	
t crítico uni-caudal	2,131847	
P(T<=t) bi-caudal	0,902195	
t crítico bi-caudal	2,776445	

Fonte: (AUTOR, 2014).

A aplicação do teste *t* emparelhado quadro 8 (Teste-t: duas amostras em par para médias.) revelou que não existe diferença significativa entre os resultados da tabela 11 ao nível de 95% de confiança estatística. Verificando que $T_{\text{calculado}} = 0,13 < T_{\text{crítico}} = 2,77$, podemos ainda observar que $P(T<=t) \text{ bi-caudal } 0,90 > 0,05$

confirmando a hipótese que os resultados obtidos nos dois aparelhos não apresentam diferença significativa a nível de 95% de confiança. Além disso, observa-se uma satisfatória precisão dos resultados para os dois instrumentos, como observado pelos valores de DP e CV.

7 PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE QUÍMICA UTILIZANDO O FOTÔMETRO DESENVOLVIDO

No ensino de ciências, podem ser utilizados diferentes métodos, incluindo-se o método de trabalho com situações-problema. A escolha do método ideal depende de diversos fatores relativos aos alunos, às condições, aos objetivos esperados e ao conteúdo programático, etc. A principal competência do professor está na escolha do método com maior potencial educativo para cada situação (NUÑEZ et al, 2004).

Para Costa e Moreira (2011) a resolução de problemas é um recurso indispensável para o ensino de ciências, mas a forma como vem sendo utilizada precisa ser repensada pelos envolvidos no processo ensino-aprendizagem e o principal agente para esta mudança é o professor ou professor/pesquisador.

Segundo Cachapuz apud Santos, Almeida e Campos (2005 p. 26), “o ponto de partida para aprendizagens significativas deve se dá através da resolução de situações-problema de preferência relativas a contextos reais que despertem a atenção dos alunos”.

Situação-problema para Meirieu apud Lacerda (2008):

é uma situação didática, na qual, se propõe ao sujeito uma tarefa que ele não pode realizar sem efetuar uma aprendizagem precisa. Esta aprendizagem que consiste o verdadeiro objetivo da situação-problema se dá ao vencer um obstáculo na realização da tarefa. Assim, a produção impõe a aquisição de uma e outra devendo ser objetivo das avaliações distintas (MEIRIEU, 1998 p.192)

De acordo com Nuñez et al. (2004) ao elaborar as situações-problema o professor deve refletir que os obstáculos são barreiras colocadas aos alunos para que sejam enfrentadas e superadas de forma natural. Para Nuñez e Franco (2002) um dos requisitos básicos na organização de situações-problema é que a situação não pode ser tão fácil que não provoque dificuldades, nem tão difícil que fique fora do alcance cognitivo dos alunos.

Costa e Moreira (2005) em seu estudo sobre propostas de metodologias didáticas verificaram que a maioria dos autores parece concordar que a diferença entre um problema e um exercício é que este último requer mecanismos que nos conduzem de forma imediata à sua solução.

Echeverria e Pozo apud Nuñez et al. (2004) fazem uma diferenciação importante entre problema e exercícios. Para eles, o problema supõe a solução de

uma situação para qual o aluno não dispõe de um caminho rápido e direto, pois deve reconstruir novos procedimentos, procurar novos sentidos para conhecimentos conceituais, etc. Não existe solução imediata, o que implica certa criatividade numa relação entre o conhecido e o desconhecido. Já a realização de exercícios baseia-se no uso de habilidades ou técnicas aprendidas, como rotinas automatizadas que expressam sequências conhecidas.

De acordo com a diferenciação entre problemas e exercícios os PCNEM nos mostram como o ensino de química vem sendo trabalhado de forma equivocada:

Vale lembrar que o ensino de Química tem se reduzido à transmissão de informações, definições e leis isoladas, sem qualquer relação com a vida do aluno, exigindo deste quase sempre a pura memorização, restrita a baixos níveis cognitivos. Enfatizam-se muitos tipos de classificação, como tipos de reações, ácidos, soluções, que não representam aprendizagens significativas. Transforma-se, muitas vezes, a linguagem química, uma ferramenta, no fim último do conhecimento. Reduz-se o conhecimento químico a fórmulas matemáticas e à aplicação de “regrinhas”, que devem ser exaustivamente treinadas, supondo a mecanização e não o entendimento de uma situação-problema. Em outros momentos, o ensino atual privilegia aspectos teóricos, em níveis de abstração inadequados aos dos estudantes. (BRASIL, 2002, p. 32)

Segundo Silva e Núñez (2002), a solução de problemas apresenta-se como uma alternativa a mais nas situações didáticas. O foco não se coloca nos procedimentos ou nas descobertas, mas na construção do conhecimento e na compreensão do trabalho de produção do conhecimento pela ciência.

Os PCN+ nos mostram que o aluno deve desenvolver competências e habilidades, e uma dessas competências é, “Identificar as informações ou variáveis relevantes em uma situação-problema e elaborar possíveis estratégias para equacioná-la ou resolvê-la”.

A partir do que nos diz os pcn+ para o ensino de química nossa proposta de sequência didática utilizará como situação-problema a de determinação da concentração de uma solução desconhecida utilizando um dispositivo simples projetado e construído especificamente para aplicação na espectrofotometria.

7.1 Sequência Didática: Espectrofotometria de baixo custo para o Ensino Médio

- **Apresentação**

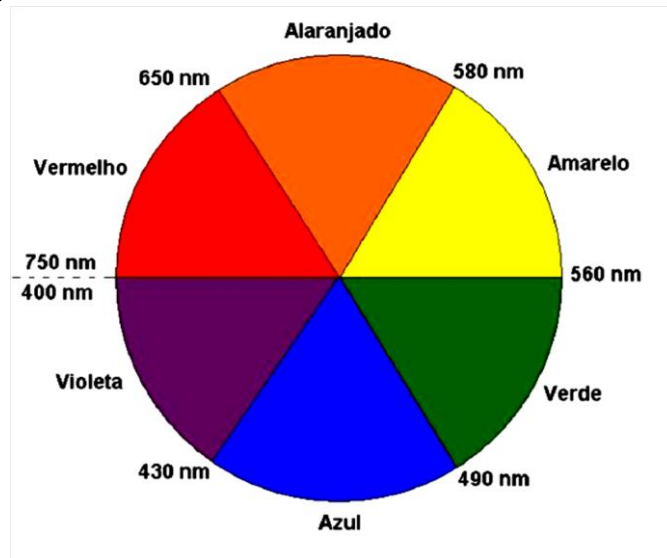
Nesta sequência didática é proposta uma sequência de atividades voltadas para a aplicação da espectrofotometria em turmas de nível médio. Com a aplicação desta unidade didática queremos que o estudante consiga visualizar na prática que os fenômenos da interação da radiação eletromagnética com a matéria podem ser utilizados para realizar análises químicas e ainda correlacionar a concentração de espécies químicas com a intensidade de absorção de radiação de comprimento de onda específico. Trabalhando e consolidando assim, outras unidades já estudadas como concentração de soluções, estrutura atômica, etc.

- **Introdução**

São inúmeros os métodos de Química Analítica que possuem como princípio a interação da radiação eletromagnética com a matéria, esses métodos são chamados de métodos espectrométricos. Pode-se citar alguns como a Espectrometria de Emissão e Absorção Atômica, Espectrometria de Fluorescência e Fosforescência, Espectrometria Raman e Espectrometria de Absorção Molecular no UV-Visível, esta última, utiliza a absorção da radiação na faixa de comprimento de onda que abrange do ultravioleta ao visível, ou seja, entre 190nm a 800nm. (SKOOG et al., 2006)

Na análise espectrofotométrica utiliza-se uma fonte de radiação no comprimento de onda na região do UV-Visível, escolhendo uma faixa de comprimento de onda bem definida. Um espectrômetro é um instrumento que possui um sistema que dispersa a radiação eletromagnética que incide sobre um sistema permitindo a medida da quantidade de radiação transmitida em determinado comprimento de onda, já um fotômetro mede a intensidade de radiação transmitida, quando combinados espectrômetro e fotômetro (espectrofotômetro) se produz um sinal que corresponde a diferença entre a radiação transmitida por um material de referência e uma amostra. (MENDHAM et al., 2002).

Figura 51 – Disco de cores, com as cores complementares e intervalos de comprimento de onda



Fonte: (ALMEIDA et al., 2013).

- **Objetivo Geral**

Proporcionar ao estudante, a partir de um instrumento de baixo custo, a compreensão de que espectrofotometria é uma técnica analítica que utiliza as interações entre a luz e a matéria para medir a concentração de espécies químicas sendo assim uma importante ferramenta de análise para a química.

- **Objetivos específicos:**

- Compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos.
- Compreender que a espectrofotometria é uma técnica que utiliza as interações entre a luz e a matéria para realizar análises químicas.
- Identificar o espectrofotômetro como o instrumento capaz realizar análises químicas a partir da interação da luz com a substância a ser analisada.
- Compreender os processos práticos de análises qualitativa e quantitativa de espécies químicas presentes em uma solução.
- Construir e interpretar gráficos de correlação entre absorção de radiação (absorbância) e concentração de uma espécie química em solução (curva de calibração);

- **Público alvo:**

Esta unidade didática poderá ser aplicada para estudantes de turmas de 2ª e 3ª séries do Ensino Médio, sem limites de faixa etária.

- **Conteúdo:**

- Ondas Eletromagnéticas.
- Espectro eletromagnético.
- Estrutura Atômica
- Interação da luz com a matéria
- Estudo de concentração das soluções

- **Quadro Sintético:**

Quadro 9 – Quadro sintético das atividades

Atividades	Duração	Momentos
1	2 aulas (100min)	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilização do artigo “As Ferramentas do Químico¹” • Exibição do vídeo “ É Tempo de Química! Espectroscopia²”
2	2 aulas (100min)	<ul style="list-style-type: none"> • Aula expositiva: A interação da radiação eletromagnética com a matéria. • Espectrofotometria: usos e conceitos.
3	4 aulas (100min)	Determinação da concentração de permanganato de potássio de uma solução de concentração desconhecida
4	2 aulas (100 min)	Avaliação e apresentação dos resultados

Fonte: (AUTOR, 2014).

- **Descrição das Atividades**

Atividade 1

¹ Artigo disponível em: <<https://www.qnesc.sbg.org.br/online/qnesc05/conceito.pdf>>.

² Vídeo disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=5OopJFZqaQs>>.

1º Momento

No início da atividade afim e despertar o interesse dos estudantes para o tema, o professor deverá dispor para leitura em grupos de até 4 estudantes o artigo: As Ferramentas do Químico. Após a leitura o professor poderá fazer alguns questionamentos a respeito do texto, como por exemplo, o que são as ferramentas de um Químico? Como funcionam? Para que servem?

2º Momento

Para identificar os conhecimentos prévios dos estudantes o professor deve iniciar o segundo momento perguntando aos alunos se eles sabem por que as coisas são coloridas? Após esse momento o professor pode exibir o vídeo "É Tempo de Química! Espectroscopia". Após a exibição do vídeo, o professor pode explicar que as cores são, na verdade, uma consequência da interpretação do espectro eletromagnético pelo sistema nervoso. Para finalizar esse momento o professor pode propor que os alunos pesquisem sobre o uso da espectroscopia na identificação de compostos químicos.

Atividade 2

Exposição interativa do conteúdo programático de forma contextualizada para conceituar: a interação da radiação eletromagnética com a matéria; espectrofotometria usos e conceitos; a curva de calibração em espectrofotometria.

Atividade 3

Para realização desta atividade intitulada como "Determinação da concentração de permanganato de potássio de uma solução de concentração desconhecida" é necessário que o professor, anteriormente, prepare as soluções de permanganato de potássio nas concentrações de 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 e 1 mg L⁻¹ afim de construir a curva de calibração. O professor também deve preparar uma solução de concentração 05 mg L⁻¹ para ser a solução problema. Após a preparação das soluções o professor deverá realizar as medidas de absorbância utilizando o fotômetro para construção da curva de calibração o professor poderá utilizar uma planilha eletrônica.

Materiais necessários

- Fotômetro artesanal portátil (construído)
- Comprimido de permanganato de potássio (encontrado em farmácias)
- Balança de precisão
- Tubos de ensaio
- Becker (poderá ser substituído por recipientes de vidro)
- Pipetas (poderá ser substituído por seringas)

A balança pode ser suprimida caso as soluções já estejam preparadas, contudo, o uso de uma balança é importante para que os alunos se iniciem na prática de pesagem, muito embora essa prática seja de simples realização.

1º Momento

O professor deve dividir a sala em grupos de até 4 estudantes e demonstrar o funcionamento e como utilizar o fotômetro para realizar medidas de absorvância.

2º Momento

O professor entregará para cada grupo uma amostra da solução problema de permanganato de potássio, o professor não deve informar a concentração da solução problema aos grupos, após que todos os grupos estiverem com suas amostras problema, o professor pedirá para cada grupo realizar as medidas de absorvância da solução problema em diferentes comprimentos de onda , para isso os estudantes deverão utilizar como fonte de radiação LEDs de cores diferentes (azul, verde , vermelho e amarelo), para cada medida com LED diferente o aluno deve fazer as anotações dos valores obtidos.

3º Momento

Neste momento já com os alunos de posse dos resultados de qual LED provocou maior absorção da luz pela solução de permanganato, o professor disponibilizará a curva de calibração de cada comprimento de onda (cor do LED), fornecer a curva de calibração pronta e deixar que os alunos apenas analisem as amostras. Acreditamos que a essa opção é mais viável por causa do tempo

disponível para realização do experimento, pois a construção do gráfico vai demandar um tempo bem maior.

Atividade 4

O professor deverá solicitar que os estudantes elaborem uma pequena apresentação com os resultados obtidos na atividade experimental e informações que eles acharem pertinentes em suas pesquisas, após as apresentações o professor poderá informa aos estudantes qual a concentração da solução problema, a discrepância eventual encontrada em alguns resultados poderá surpreender os estudantes que sem dúvida terão como expectativa resultados exatos ou exatamente iguais. Para que os estudantes não fiquem desmotivados com os resultados é importante que o professor explique que os métodos analíticos sempre existem erros que vão desde erros pessoais até erros indeterminados e que o mais importante é a análise do resultado e não o resultado em si, contudo, a análise do erro em relação a um valor verdadeiro ou exato é que vai dizer se o erro observado é aceitável ou não. Essa discussão deve possibilitar ao estudante conhecer como um analista avalia e toma decisões, ao mesmo tempo em que lhe mostra as possibilidades de erros durante uma análise química e obviamente os cuidados mínimos para que os resultados obtidos não sejam tão influenciados pelos erros mais grosseiros.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A experimentação e a contextualização são fundamentais no ensino de química, no entanto, como dito anteriormente neste trabalho, esses são fatores que vem sendo negligenciados no ensino médio brasileiro, principalmente nas escolas públicas.

Diante desse fato foi estabelecido o problema da pesquisa É possível desenvolver um fotômetro com matérias de baixo custo, para o ensino de Química na Educação Básica?

Diante desta pergunta, nessa pesquisa somaram-se esforços e para que fosse atingido nosso objetivo geral a construção de um fotômetro de baixo custo e de fácil aquisição, para ser utilizado em aulas experimentais promovendo a contextualização do ensino de Química na Educação Básica.

No percurso para que esse objetivo fosse atingido várias etapas foram superadas. Primeiro com referencial teórico no qual se estabeleceu as bases conceituais essenciais para a compreensão da pesquisa e os métodos de validação analítica e de tratamento estatísticos utilizados na avaliação do aparelho construído.

Ainda no referencial foram relacionados trabalhos semelhantes realizados por pesquisadores em diferentes regiões do mundo.

Na seção 5, Fotômetro Desenvolvido, relaciona-se os requisitos materiais para a construção do equipamento, essa relação, originada da pesquisa bibliográfica realizada para a elaboração do referencial teórico, tem como uma de suas principais preocupações o valor e a facilidade de compra dos materiais utilizados.

Na seção 6 foi realizada a validação do equipamento desenvolvido utilizando diversos tratamentos estatísticos onde podemos destacar a aplicação do teste t emparelhado comparando os resultados obtidos para medidas de concentração de alaranjado de metila utilizando o instrumentos desenvolvido neste trabalho com os resultados obtidos utilizando um espectrofotômetro comercial, os resultados revelaram que não existe diferença significativa entre os resultados a nível de 95% de confiança estatística. Além disso, observa-se uma satisfatória precisão dos resultados para os dois instrumentos, como observado pelos valores de DP e CV.

Posteriormente, foi proposta uma sequência didática aplicando o equipamento desenvolvido para introduzir os conceitos da espectrofotometria em aulas experimentais de Química.

É preciso destacar que o instrumento desenvolvido apresentou resultados satisfatórios para sua utilização em sala de aula, podendo ser utilizado para introduzir os conceitos da espectrofotometria e os fenômenos da interação da luz com a matéria em aulas experimentais de Química na Educação Básica.

Mas o fotômetro desenvolvido possui suas limitações como, por exemplo, a faixa de comprimento de onda que pode ser medida, em razão da indisponibilidade de LEDs em todas as cores do visível. Sendo assim o aparelho desenvolvido neste estudo não substitui os espectrofotômetros comerciais para realização de pesquisas e análises científicas.

8.1 Perspectivas de trabalhos futuros

O desenvolvimento do fotômetro é apenas uma parte do que pode ser ainda estudado. A seguir, serão relacionadas algumas sugestões de trabalhos futuros que podem ser realizados a partir desta pesquisa:

- Aplicar e avaliar a sequência didática “Espectrofotometria de baixo custo para o Ensino Médio” proposta neste trabalho;
- Desenvolver metodologias para aplicação do fotômetro desenvolvido em determinações analíticas na região do visível, para amostras reais, explorando outros comprimentos de onda;
- Melhorar o espectrômetro desenvolvido adicionando uma grade de difração e um motor de passos, para que o fotômetro alcance uma maior cobertura de comprimento de onda na região do visível;

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução n. 899, de 29 de maio de 2003. Determina a publicação do Guia para validação de métodos analíticos e bioanalíticos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2 jun. 2003. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/2003/re/899_03re.htm>. Acesso em: 18 ago. 2013.

ALMEIDA, Vanessa Vivian de et al. Análise qualitativa de proteínas em alimentos por meio de reação de complexação do íon cúprico. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 35, n. 1, p. 34-40, 2013. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc35_1/06-EEQ-79-11.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2013.

ALMEIDA, Wagner B. de; SANTOS, Hélio F. dos. Modelos teóricos para compreensão da estrutura da matéria. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 4, p. 6-13, 2001. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/04/mod-teor.pdf>>. Acesso em: 1 maio 2013.

ANELE, Andreia Carmelita. **O enfoque cts em sala de aula: uma abordagem diferenciada utilizando a unidade de aprendizagem na educação química**. 2007. 109 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

ARAÚJO, M. C. A. et al. Um fotômetro de fluxo para análises clínicas a base de um diodo emissor de luz bicolor. **Química Nova**, São Paulo, v. 2, n. 20, p.137-145, 1997. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v20n2/4926.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2013.

ATKINS, Peter; JONES, Loreta. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 968 p.

BARATIERI, Stela Mari et al. Opinião dos estudantes sobre a experimentação em química no ensino médio. **Experiências em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 3, n. 3, p.19-31, 2008. Disponível em: http://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo_ID64/v3_n3_a2008.pdf Acesso em: 25 ago. 2013.

BARROS, Aidil Jesus da Silveira; LEHFELD, Neide Aparecida de Souza. **Fundamentos de metodologia científica**. 3. ed. São Paulo: Pearson, 2007. 158 p.

BERRESSEM, James. Cases packed with chemistry. **Education in Chemistry**, United Kingdom, v. 45, n. 2, p. 36-36, 2008. Disponível em: <http://www.rsc.org/Education/EiC/issues/2008Mar/CasesPackedWithChemistry.asp>. Acesso em: 26 ago. 2013.

BRADY, James E.; HUMSTON, Gerard E. **Química geral**. 2. ed. São Paulo: Ltc, 1986.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília, DF, 2006. 135 p. (Orientações para o ensino médio, v. 2). Disponível em: http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf. Acesso em: 18 ago. 2013.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio: bases legais: parte 1**. Brasília, DF, 2000.1999a. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2013.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias: parte 3**. Brasília, DF, 1999b. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2013.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **PCN+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília, DF, 2002. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2013.

CACHAPUZ, António; PRAIA, João; JORGE, Manuela. Da educação em ciência às orientações para o ensino das ciências: um repensar epistemológico. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 10, n. 3, p. 363-381, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v10n3/05>. Acesso em: 18 ago. 2013.

CHAGAS, Ismael Pereira. **Desenvolvimento de um fotômetro portátil NIR para determinação do teor de água no álcool combustível e do teor de etanol na gasolina**. 2006. 151 f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

COSTA, Sayonara Salvador Cabral da; MOREIRA, Marco Antonio. **Resolução de problemas II: propostas de metodologias didáticas**. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID26/v2_n1_a1997.pdf. Acesso em: 1 jul. 2011.

CURI, Denise. Colorimetria: determinação de Fe³⁺ em água. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 24, p. 39-42, 2006. Disponível em: <http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc24/eeq3.pdf> Acesso em: 1 jul. 2011.

DAZZANI, Melissa et al. Explorando a química na determinação do teor de álcool na gasolina. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 17, p. 42-45, 2003. Disponível em: <http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc17/a11.pdf> . Acesso em: 1 jul. 2011.

DELIZOICOV, Demérito; ANGOTTI, José André; PERNAMBUCO, Marta Maria. **Ensino de ciências: fundamentos e métodos**. 2. São Paulo: Cortez, 2007. 364 p.

DINIZ, Paulo Henrique Gonçalves Dias. **Determinação do teor de NaCl, Glicose e KCl em medicamentos injetáveis por fotometria usando exploração do efeito Schlieren em Sistemas FIA e PLS1**. 2010. 89 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

FERREIRA, Luiz Henrique et al. Experimentação em sala de aula e meio ambiente: determinação simples de oxigênio dissolvido em água. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 19, p. 32-35, 2004. Disponível em: <https://www.yumpu.com/pt/document/view/12468729/experimentacao-em-sala-de-aula-e-meio-ambiente-qnesc>. Acesso em: 23 set. 2013.

FIRME, Ruth do Nascimento. **A implementação de uma abordagem CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no ensino da química: um olhar sobre a prática pedagógica**. 2007. 203 f. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007.

GAIÃO, Edvaldo da Nóbrega et al. Um fotômetro multi-led microcontrolado, portátil e de baixo custo. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 6, p.1102-1005, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v28n6/26842.pdf> Acesso em: 25 ago. 2013.

GONÇALVES, Fábio Peres. **O texto de experimentação na educação em química: discursos pedagógicos e epistemológicos**. Florianópolis, 2005. 168 f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

GONÇALVES, Jaylei Monteiro; ANTUNES, Katia Christina Leandro; ANTUNES, Alexandre. Determinação qualitativa dos íons cálcio e ferro em leite enriquecido. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 14, p. 43-45, 2001. Disponível em: <http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc14/v14a10.pdf> . Acesso em: 22 ago. 2013.

GUIMARÃES, Cleidson Carneiro. Experimentação no ensino de química: caminhos e descaminhos rumo à aprendizagem significativa. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 31, n. 3, p.198-202, 2009. Disponível em: http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc31_3/08-RSA-4107.pdf. Acesso em: 1 jul. 2013.

HARRIS, Daniel. **Análise química quantitativa**. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2001. 862 p.

HOFSTEIN, Avi. The laboratory in chemistry education: thirty years of experience with developments, implementation, and research. **Chemistry Education: Research and Practice**, London, v. 5, n. 3, p. 27-264, 2004. Disponível em: http://www.uoi.gr/cerp/2004_October/pdf/06HofsteinInvited.pdf. Acesso em: 22 set. 2013.

HOLLER, F. James; SKOOG, Douglas A.; CROUCH, Stanley R. **Princípios de análise instrumental**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 1056 p.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. **Matriz de referência para o ENEM 2011**. Brasília, DF, 2011. 19p. Disponível em: <http://www.ceps.ufpa.br/daves/PS%202012/PS%202012%20ENEM.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. (Org.). **Orientação sobre validação de métodos analíticos**: documento de caráter orientativo: DOQ-CGCRE-008. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/Sidoq/Arquivos/CGCRE/DOQ/DOQ-CGCRE-8_03.pdf >. Acesso em: 30 ago. 2013.

KNAGGE, Kevin; RAFTERY, Daniel. Construction and evaluation of a LEGO spectrophotometer for student use. **The Chemical Educator**, Boise, v. 7, n. 6, p. 371-375, 2002. Disponível em: http://www.researchgate.net/publication/226202849_Construction_and_Evaluation_of_a_LEGO_Spectrophotometer_for_Student_Use. Acesso em: 11 jan. 2014.

LACERDA, Cristiana de Castro. **A contribuição de uma situação-problema na construção dos conceitos de misturas e substâncias**. 2008. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.

LIMA, Kássio Michell Gomes de. **Sensores ópticos e instrumentação para determinação de contaminantes em águas**. 2009. 147 f. Tese (Doutorado em Química Analítica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

LÜDKE, Everton. Um espectrofotômetro de baixo custo para laboratórios de ensino: aplicações no ensino da absorção eletrônica e emissão de Fluorescência. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 32, n. 1, p.1506-1-1506-3, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v32n1/a18v32n1.pdf> . Acesso em: 3 jul. 2013.

MENDHAM, J. et al. **Voguel**: análise química quantitativa. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2002.

MOTA, Fábio Alexandre Costa. **Desenvolvimento de um fotômetro com fins didáticos**. 2010. 94 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2010.

NASCIMENTO, Elaine Cristina Lima do. **Um fotômetro microcontrolado led-nir, portátil e de baixo custo para análise screening de gasolinas TIPO C**. 2008. 92 f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.

NUÑEZ, I. B. et al. O uso de situações-problema no ensino de ciências. In: NUÑEZ, I. B.; RAMALHO, B. L. (Org.). **Fundamentos do ensino-aprendizagem das ciências naturais e da matemática**: o novo ensino médio. Porto Alegre: Sulina Editora, 2004. parte II, p. 145-171.

OLIVEIRA, Ana Maria Cardoso De. **A química no ensino médio e a contextualização**: a fabricação do sabão como tema gerador de ensino aprendizagem. 2005. 118 f. Dissertação (Mestrado Ensino de Ciências Naturais e da Matemática) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

OLIVEIRA, André Fernando et al. TITGER: uma planilha eletrônica para simulação de titulação de mistura de compostos polipróticos. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 1, p.224-228, 2007. Disponível em: <http://submission.quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/2007/vol30n1/35-ED05141.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2013.

OLIVEIRA, Carlos Alberto Fernandes de; RESENDE FILHO, João Batista Moura de; ANDRADE, Liliane Rodrigues de. Identificação de ácido salicílico em produtos dermatológicos utilizando-se materiais convencionais. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 33, n. 2, p.125-128, 2011. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc33_2/08-EEQ2310.pdf. Acesso em: 19 ago. 2013.

OLIVEIRA, Luiz Fernando C. de. Espectroscopia molecular. **Química Nova na Escola**: cadernos temáticos, São Paulo, n. 4, p. 24-30, 2001. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/04/espect.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2013.

PEREIRA, Cláudio Luiz Nóbrega. **A história da ciência e a experimentação no ensino de química orgânica**. 2008. 123 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2008.

RIBANI, Marcelo et al. Validação em métodos cromatográficos e eletroforéticos. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, n. 5, p. 771-780. 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v27n5/a17v27n5.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2013.

RIBEIRO, Fabiana Alves de Lima et al. Planilha de validação: uma nova ferramenta para estimar figuras de mérito na validação de métodos analíticos univariados. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 1-10, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v31n1/a29v31n1.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2013.

RIBEIRO, Núbia Moura; NUNES, Carolina Rodeiro. Análise de pigmentos de pimentões por cromatografia em papel. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 29, p.34-37, 2008.

ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY. **Spectroscopy in a suitcase**. 2013. Disponível em: <<http://www.rsc.org/Education/HESTEM/SIAS.asp>>. Acesso em: 10 abr. 2013.

SANTOS, Verônica Tavares; ALMEIDA, Maria Angela Vasconcelos de; CAMPOS, Angela Fernandes. Concepções de professores de química do ensino médio sobre a resolução de situações-problema. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 5, n. 3, p. 25-37, 2005. Disponível em: <http://revistas.if.usp.br/rbpec/article/view/87/79> <www.fae.ufmg.br/abrapec/revistas/V5N3/v5n3a2.pdf>. Acesso em: 6 jul. 2011.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira Dos; SCHNETZIER, Roseli Pacheco. **Educação em química**: compromisso com a cidadania. 3. ed. Ijuí: Unijuí, 2003. 144 p.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. 23. ed. São Paulo: Cortez, 2007. 304 p.

SILVA, Aldriano José da. **Desenvolvimento de um leitor digital de absorvância microprocessado**. 2011. 55 f. Dissertação (Mestrado em Física Aplicada à Medicina e Biologia) – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2011.

SILVA, Reinaldo Carvalho et al. Química analítica e cidadania: no trânsito interdisciplinar. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 16, p. 26-31, 2002. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc16/v16_A07.pdf. Acesso em: 2 jul. 2011.

SILVA, Sebastião Franco da; NÚÑEZ, Isauro Beltrán. O ensino por problemas e trabalho experimental dos estudantes: reflexões teórico-metodológicas. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. 6B, p. 1197-1203, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v25n6b/13138.pdf> . Acesso em: 1 jul. 2011.

SKOOG, Douglas A. et al. **Fundamentos de química analítica**. 8. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2006. 999 p.

TAVENER, Stewart J.; THOMAS-OATES, Jane E. Build your own spectrophotometer. **Education In Chemistry**, Cambridge, p.151-154, set. 2007. Disponível em: <http://www.rsc.org/education/eic/issues/2007Sept/BuildYourOwnSpectrophotometer.asp>. Acesso em: 5 jul. 2011.

VALDERRAMA, Patrícia. **Avaliação de figuras de mérito em calibração multivariada na determinação de parâmetros de controle de qualidade em indústria alcooleira por espectroscopia no infravermelho próximo**. 2005. 134 f. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) – Universidade de Campinas, Campinas, 2005.

VASCONCELLOS, Erlete Sathler de. **Abordagem de questões socioambientais por meio de tema CTS**: análise de prática pedagógica no ensino médio de química e proposição de atividades. 2008. 155 f. Dissertação (Mestrado Ensino de Ciências) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2008.

VÉRAS NETO, José Germano. **Um espectrômetro microcontrolado baseado em LED branco como fonte de radiação e mídia de CD como grade de difração**. 2008. 116 f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.

ZUIN, Vânia Gomes; IORIATTI, Maria Célia S.; MATHEUS, Carlos Eduardo. O emprego de parâmetros físicos e químicos para a avaliação da qualidade de águas naturais: uma proposta para a educação química e ambiental na perspectiva CTSA. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 3-8, 2009. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc31_1/02-QS-5507.pdf Acesso em: 18 ago. 2013.

APÊNDICE

APÊNDICE A –

MANUAL DE UTILIZAÇÃO DO ESPECTROFOTOMETRO DESENVOLVIDO



Cuidados

Leia o manual de instruções antes da instalação ou utilização deste instrumento, caso contrário poderá ocorrer danos pessoais ou avaria do produto. Este equipamento não deve ser estocado ou utilizado em ambiente úmido ou corrosivo. Precauções devem ser tomadas para evitar que água proveniente dos tubos de ensaio entre em contato com a câmara de luz do fotômetro

SUMÁRIO

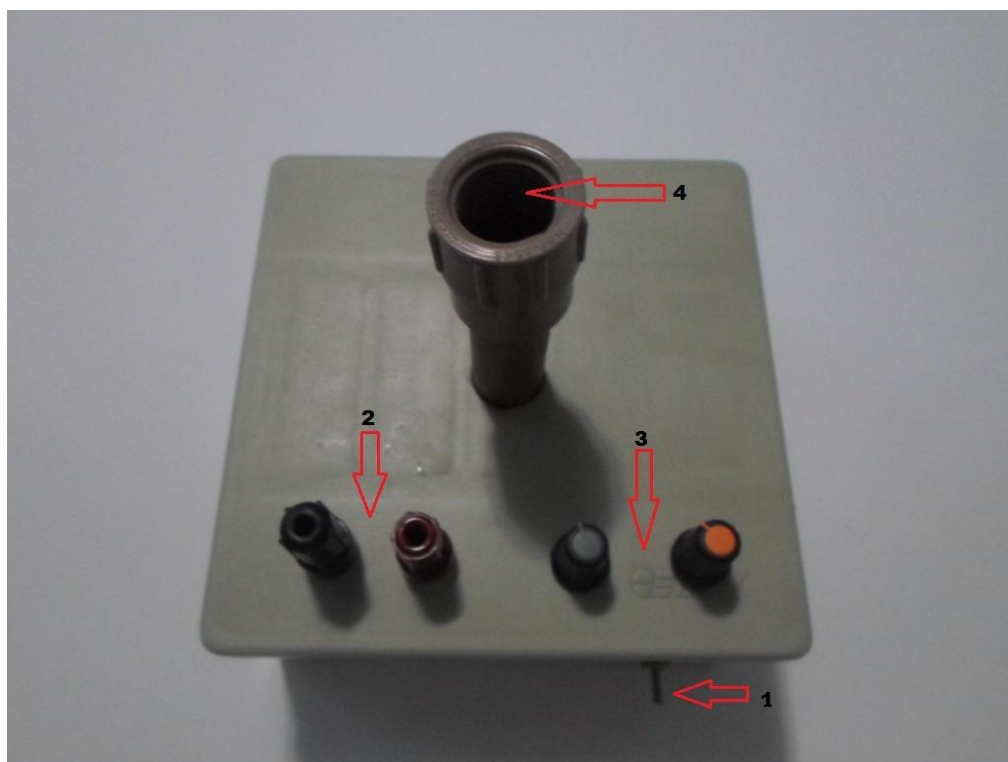
1	PRECAUÇÕES DE SEGURANÇA	1
2	VISÃO GERAL	1
3	ACESSÓRIOS	2
4	PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS	3
5	CURVAS DE CALIBRAÇÃO	4

1 PRECAUÇÕES DE SEGURANÇA.

Leia o rótulo das embalagens de todos os reagentes, nestes existem simbologia sobre periculosidade. Mantenha o equipamento e os reagentes químicos fora do alcance de crianças. Use técnicas analíticas apropriadas.

2 VISÃO GERAL

O fotômetro possui as seguintes dimensões: 14,5cm de comprimento, 14,5cm de largura e 7cm de altura. O porta recipiente, possui a dimensão interna de $\frac{1}{2}$ polegada ou 20mm de diâmetro .



1 – Chave liga desliga;

2 – Conectores para os terminais do multímetro;

3 – Botões dos potenciômetros para ajuste grosso e fino do sinal de saída;

4 – Local para colocar o recipiente com a amostra;

3 ACESSÓRIOS

- **Fonte de alimentação:**

A fonte de alimentação consiste em uma fonte chaveada externa onde a tensão de entrada pode variar desde 100V a 240 V ac



- **Recipiente para amostras:**

Dois tubos de ensaio com tampa de rosca com 18 mm de diâmetro.



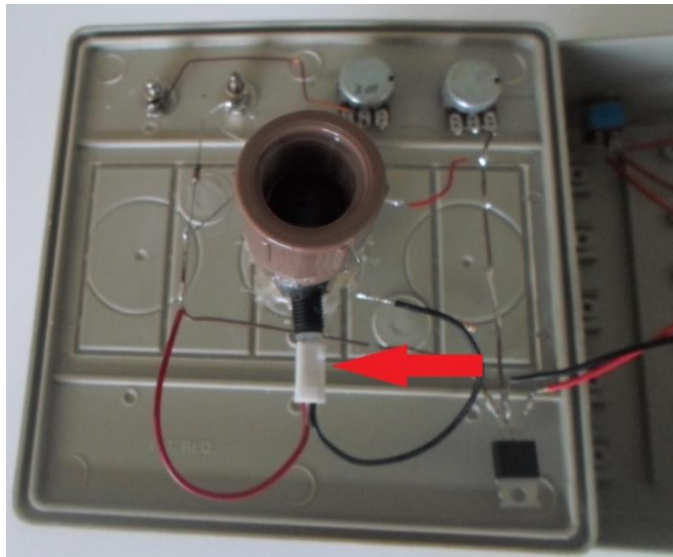
- **Dispositivo de Leitura:**

Multímetro digital



4 PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

1 – Escolha o comprimento de onda que será realizada a medida, neste caso coloque um LED na cor complementar a da amostra, para colocar o LED abra a tampa do fotômetro e substitua o LED no local indicado na figura abaixo;



2 – Conecte a fonte de alimentação ao fotômetro;

3 – Ligue a chave liga desliga; **Deixe-o pelo menos 5 minutos estabilizando!**

4 – Verifique se a luz do LED dentro do porta recipiente esta está acesa;

5 – Conecte os terminais do multímetro digital aos conectores do fotômetro;

6 – Ligue o multímetro na escala DVC (tensão contínua) na posição 20V como indicado na figura abaixo;



7 – Insira o tubo com **branco** e em seguida faça a anotação do sinal analítico de saída em V mostrado no display do multímetro;

8 – Inicie as leituras das medidas das amostras, para cada nova medida coloque o tubo com o branco e utilizando os botões de ajuste grosso e fino regule o sinal de saída do **branco** no valor

9 – Tenha o máximo cuidado ao manusear este fotômetro, principalmente com soluções coloridas e/ou corrosivas.

10 – Após desligado, cubra-o com uma capa para proteção;

11 – Para limpá-lo utilize apenas água e detergente neutro.

5 CURVAS DE CALIBRACAO.

O primeiro passo para determinar a concentração de uma amostra usando o fotômetro desenvolvido e criar uma curva de calibração. Para criar uma curva de calibração prepare uma serie de soluções padrões da substância que se vai analisar, e faça a inserção da curva. Construa um gráfico dos resultados: sinal analítico x a concentração dos padrões, para obter a curva de calibração. A curva de calibração pode ser usada para determinar a concentração de uma amostra desconhecida, testando a amostra, fazendo leituras em Absorbância ou Transmitância, e correlacionando à concentração correspondente da curva. Você também pode determinar a faixa linear do seu método

• Procedimento para construção da curva de calibração

- 1) Prepare 5 ou 6 soluções padrão da substância a ser analisada. A concentração desses padrões deve ser espaçada pela faixa de emprego do método, e deve incluir o **branco** (água destilada). Por exemplo, as concentrações poderiam ser 0, 10%, 30%,50%, 70%, e 90% da concentração máxima permitida pelo método;
- 2) Realize as leituras dos sinais analíticos das amostras;
- 3) Trace um gráfico dos resultados, sinal analítico x concentração (em papel milimetrado ou com auxilio de um de uma planilha eletrônica). Lance a concentração dos padrões no eixo horizontal e o sinal analítico em V no eixo vertical;

- 4) Após construir o gráfico dos resultados, trace a linha, ou curva, que melhor se encaixe aos pontos. A melhor reta não tem que obrigatoriamente passar em cima de todos os pontos. Alguns métodos irão produzir uma linha reta, enquanto outros dão origem a uma curva. Muitas planilhas eletrônicas e calculadoras podem calcular a curva que melhor se encaixa ao conjunto dos dados, por regressão linear;
- 5) para construir a curva de calibração em uma planilha eletrônica, coloque os dados das medidas do sinal analítico x a concentração , insira um gráfico no modelo dispersão e em seguida adicione a linha de tendência, exibindo a equação da reta e o coeficiente de regressão linear R^2 . Para saber mais sobre a construção da curva utilizando planilha eletrônica pode-se assistir o vídeo disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=DGf68DC43tQ>.