

JÚLIO CÉSAR ALVES FERREIRA

**PROPOSTA DE AULA CONTEXTUALIZADA: DETERMINAÇÃO
COLORIMÉTRICA DE Fe²⁺ EM FÁRMACOS EMPREGANDO UM
SMARTPHONE COMO INSTRUMENTO ANALÍTICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Química em Rede Nacional, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2019

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

Ferreira, Júlio César Alves, 1973-

F383d
2019

Proposta de aula contextualizada : determinação colorimétrica de Fe 2+ em fármacos empregando um smartphone como instrumento analítico / Júlio César Alves Ferreira. – Viçosa, MG, 2019.

xii, 59 f. : il. ; 29 cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Willian Toito Suarez.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Colorimetria. 2. Smartphones. 3. Sulfato de Ferro II.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Química.
Programa de Pós-Graduação em Química em Rede Nacional.
II. Título.

CDD 22 ed. 543.55

JÚLIO CÉSAR ALVES FERREIRA

**PROPOSTA DE AULA CONTEXTUALIZADA: DETERMINAÇÃO
COLORIMÉTRICA DE Fe^{2+} EM FÁRMACOS EMPREGANDO UM
SMARTPHONE COMO INSTRUMENTO ANALÍTICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Química em Rede Nacional, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

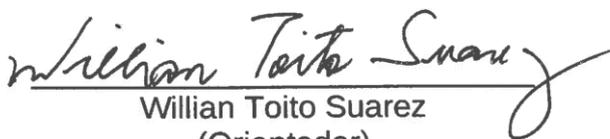
APROVADA: 28 de junho de 2019.



Etraim Lázaro Reis
(Coorientador)



Róbson Ricardo Teixeira



Willian Toito Suarez
(Orientador)

*Aos meus pais Carlos e Jotací por me darem a vida e mesmo
diante de tantos obstáculos me motivarem em meus estudos.*

*À minha esposa, amiga e companheira, Ruthe e aos meus
queridos filhos Juliana, Pedro José e Ana Júlia, por serem a razão de
minha vida.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por conceder-me forças para as lutas de cada dia.

Ao meu pai Carlos e minha mãe Jotací por todos os ensinamentos.

À minha esposa, Ruthe pela paciência, compreensão, carinho, amor e companheirismo.

Aos meus filhos Juliana, Pedro José e Ana Júlia por serem os grandes motivadores de minha vida.

Aos meus irmãos Carlos Alberto, Líliam Maria e Ubirajara por saber que posso contar com todo apoio nos momentos mais difíceis.

Aos meus cunhados por fazerem parte dessa família.

Ao meu tio Joaquim por ser um dos grandes responsáveis por mais essa conquista.

Ao grande amigo Iterlandes pelo constante apoio nessa trajetória.

Aos amigos Luiz e Bruno pelo companheirismo.

Ao professor Doutor Efraim Lázaro Reis por toda dedicação ao Profqui.

Ao professor Doutor Willian meu orientador pela confiança depositada e pelo apoio.

Ao amigo Mathews pelos ensinamentos, pela paciência e toda dedicação a mim, mesmo em seus momentos difíceis.

BIOGRAFIA

JÚLIO CÉSAR ALVES FERREIRA, filho de Jotací Alves Ferreira e Carlos Alves Ferreira, nasceu em Inhapim/MG, em 1973. Em 2002, casa-se com Ruthe de Souza Alves tendo três filhos, Juliana, Pedro José e Ana Júlia. Possui graduação em Farmácia & Bioquímica pela Universidade Federal de Juiz de Fora, graduação em Ciências com Habilitação Plena em Química (Licenciatura) pela Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras Santa Marcelina MG, aperfeiçoamento em Análises Clínicas, pela Universidade Federal de Minas Gerais, especialização em Química pela Universidade Federal de Lavras. Em 1998 inicia sua carreira na cidade mineira de Santana do Manhuaçu como responsável técnico pelo laboratório de análises clínicas, no ano seguinte inicia sua carreira como professor de Química pela Escola Estadual Célia Pereira Mendes. A partir daí se apaixonou pelo magistério e passou a exercer somente a profissão de professor, atuando também no Centro Educacional de Manhuaçu escola da rede particular de ensino em Manhuaçu e no Colégio Tiradentes da Polícia Militar em Manhuaçu-MG. Durante a graduação atuou como bolsista desenvolvendo um projeto de pesquisa com o seguinte título: Avaliação Sazonal de Fungos Filamentosos Anemófilos no Parque Estadual do Ibitipoca, no parque Estadual de Ibitipoca –MG. Como professor recebeu um prêmio nacional pelo FNDE onde ficou em terceiro lugar na categoria regional (sudeste) com o projeto Parasitoses Intestinais em Crianças na Faixa Etária de 5 a 10 anos na Escola Municipal Barra Alegre no município de Santana do Manhuaçu-MG. Nos dias de hoje tem buscado aumentar seus conhecimentos para continuar contribuindo com a boa formação de seus alunos.

"Se, na verdade, não estou no mundo para simplesmente a ele me adaptar, mas para transformá-lo; se não é possível mudá-lo sem um certo sonho ou projeto de mundo, devo usar toda possibilidade que tenha para não apenas falar de minha utopia, mas participar de práticas com ela coerentes." Paulo Freire (1921-1997)

"O dinheiro faz homens ricos, o conhecimento faz homens sábios e a humildade faz grandes homens."

Mahatma Gandhi

"A gratidão é a memória do coração."

Antístenes de Atenas (444-371 a.c.)

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. PROBLEMATIZAÇÃO	2
3. JUSTIFICATIVA.....	4
4. OBJETIVOS.....	6
4.1 Objetivo geral.....	6
4.2 Objetivos específicos.....	6
5. METODOLOGIA	6
6. REFERENCIAL TEÓRICO.....	7
6.1. Importância da experimentação no ensino de química.....	7
6.2. Ensino contextualizado	8
6.3. Ensino por investigação.....	9
6.4. Inserção de novas tecnologias no contexto escolar	10
6.5. Celular em sala de aula: problema ou solução?	12
6.6. A carência do Sulfato ferroso (Fe^{2+})	15
6.7. Métodos digitais de análise empregando spot tests	17
6.7.1. Teoria das cores	17
6.8. Modelo de cor em RGB em imagens digitais	18
6.9. Métodos analíticos baseados em imagens digitais	19
6.10. Spot tests	20
6.11. Planejamentos experimentais.....	20
6.12. Emprego de métodos digitais no ensino da química.....	21
7. PARTE EXPERIMENTAL	22
7.1. Reagentes e amostras.....	22
7.2. Equipamentos	24
7.3. Otimização da Aquisição de Imagens	24
7.4. Análise das Imagens Digitais – Photometrix	26
7.5. Calibração Univariada Empregando o Photometrix	27
7.6. Otimização do Processo de Análise de Imagem.....	29
7.6.1. Variação no tamanho da área selecionada.....	29
7.6.2. Local de seleção das imagens e disposição da tampa plástica no sistema ...	29
7.7. Otimização de Parâmetros Operacionais do Sistema	30
7.8. Determinação Fe^{2+} em sulfato ferroso.....	31
7.9. Validação do método	32

8. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
8.1. Otimização da análise das imagens	32
8.1.1. Variação no tamanho da área selecionada.....	32
8.1.2. Disposição da tampa plástica no sistema.....	33
8.2. Otimização de parâmetros operacionais dos sistemas.....	33
8.3. Determinação de Fe ²⁺ em Sulfato Ferroso.....	35
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
APÊNDICES.....	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Processo de Ensino Aprendizagem como um fenômeno de causa e efeito.....	3
Figura 2: Espectro eletromagnético destacando a região da radiação visível ..	17
Figura 3: Diagrama esquemático que elucida as cores primárias e complementares no espectro eletromagnético do visível	18
Figura 4: Representação geométrica do modelo de cores RGB.....	19
Figura 5: Soluções estoque de ácido ascórbico, sulfato ferroso amoniacal e fenantrolina.....	23
Figura 6: Fármacos analisados	23
Figura 7: Balança, espectrofotômetro, celular e caixa.....	24
Figura 8: Sistema construído para a captura de imagem. Representação ilustrativa da câmara interior usadas para obtenção das imagens digitais	26
Figura 9: Ilustração das etapas para calibração univariada empregando aplicativo PhotoMetrix.....	28
Figura 10: Esquema da reação de formação do quelato entre íons Fe^{2+} e Fenantrolina.....	31
Figura 11: Distribuição de luz no sistema.....	33
Figura 12: Gráfico da resposta analítica em função da concentração de ácido ascórbico	36
Figura 13: Gráfico da resposta analítica em função da concentração de fenantrolina.....	37
Figura 14: Gráfico da resposta analítica em função do tempo de reação	37
Figura 15: Curva de calibração para determinação de Fe^{2+} em sulfato ferroso empregando o canal B do sistema RGB	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Respostas dos canais RGB em diferentes volumes de solução	34
Tabela 2: Resposta dos canais RGB para imagens capturadas em ambientes com diferentes níveis de iluminação	35
Tabela 3: Efeito de possíveis interferentes na determinação de Fe^{2+} (n=3)	39
Tabela 4: Estimativa de precisão	42
Tabela 5: Porcentagens de recuperação de Fe^{2+} obtidas para os dois níveis de concentração estudados	44
Tabela 6: Exemplo de critério de aceitação para recuperação	44
Tabela 7: Determinação de Fe^{2+} em sulfato ferroso empregando o método proposto e um método de referência	45

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ADF	Anemia por deficiência de ferro
AF	Anemia Ferropriva
ANOVA	Análise de Variância
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
CMD	Concentração Média Determinada
CV	Coefficiente de Variação
DF	Deficiência de Ferro
DPR	Desvio Padrão Relativo
Hb	Hemoglobina
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
LD	Limite de Detecção
LQ	Limite de Quantificação
PCNEM	Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio
PNDS	Pesquisa Nacional de Demografia e Saúde
r	Coefficiente de correlação
R ²	Coefficiente de determinação
RGB	Red, Green e Blue
SD	Estimativa do desvio padrão da resposta analítica do branco
TIMS	Tecnologias da Informação e Comunicação Móveis e sem Fio

RESUMO

FERREIRA, Júlio César Alves, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2019. **Proposta de aula prática contextualizada: determinação de fármacos empregando um Smartphone como um instrumento analítico.** Orientador: Willian Toito Suarez. Coorientador: Efraim Lázaro Reis.

A proposta desse trabalho consistiu no desenvolvimento de uma aula prática contextualizada para alunos de ensino médio baseada na determinação de Fe^{2+} em fármacos cujo princípio ativo é o sulfato ferroso, que devido ao baixo custo e boa eficácia no tratamento de anemia, é o medicamento mais amplamente prescrito. Com a experimentação de forma contextualizada podemos problematizar situações e estimular o aluno a realizar um trabalho por investigação para que o mesmo possa vir a buscar respostas deixando de ser um mero expectador. Esta aula prática será oferecida a professores de ensino médio da rede pública e particular que atuam na área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias para que os mesmos possam atuar de forma contextualizada e interdisciplinar. O método aplicado utiliza reagentes de fácil aquisição e em pequenas quantidades, além de ter o smartphone como instrumento de análise utilizado, o que torna a aula prática com baixo custo e de fácil execução, quando comparado a instrumentos de análise utilizados tradicionalmente. O equipamento para análise das imagens foi construído empregando a caixa do próprio celular. As reações foram realizadas diretamente em tampas de plástico reutilizadas e em seguida inseridas na caixa para captura das imagens pelo aplicativo do smartphone. Diante do estudo realizado e com os resultados obtidos pode-se concluir que a aula prática desenvolvida pode ser utilizada como mais uma ferramenta de incentivo aos alunos do ensino médio agindo como facilitador do processo de ensino e aprendizagem. A experimentação, contextualização e o uso de tecnologia pode ser um caminho novo e alternativo no ensino da química e disciplinas afins.

ABSTRACT

FERREIRA, Júlio César Alves, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2019. **Contextualized practical class proposal: pharmaceutical determination using a Smartphone as an analytical tool.** Adviser: Willian Toito Suárez. Co-adviser: Efraim Lázaro Reis.

The proposal of this work consisted in the development of a contextual classroom for high school students based on the determination of Fe^{2+} in drugs whose active principle is ferrous sulfate, which due to the low cost and good treatment efficacy of anemia is the most widely prescribed drug. With experimentation in a contextualized way we can problematize situations and stimulate the student to carry out research work so that the student can come to seek answers from a mere spectator. This practical class will be offered to public and private high school teachers who work in the area of Natural Sciences, Mathematics and its Technologies so that they can act in a contextualized and interdisciplinary way. The applied method uses reagents that are easy to acquire and in small quantities, besides having the smartphone as an analytical instrument used, which makes the practical class with low cost and easy execution, when compared to traditionally used analysis instruments. The imaging equipment was built using the mobile phone case. Reactions were performed directly on reused plastic lids and then inserted into a phone case to capture the images by the smartphone application. In view of the study carried out and with the results obtained it can be concluded that the developed practical class can be used as a further incentive tool for high school students acting as a facilitator of the teaching learning process. Experimentation, contextualization and the use of technology may be a new and alternative path in teaching chemistry and related disciplines.

1. INTRODUÇÃO

De forma geral, na literatura científica, destaca-se que o uso do experimento químico escolar em química permite aos alunos desenvolver capacidades de observação, análise, reflexão, representação de imagens estáveis e duradouras em suas consciências para aplicação na vida prática. O aluno pode obter melhores resultados de aprendizagem quando executa atividades, aprofundando e ampliando os significados elaborados por meio da sua participação no processo ensino aprendizagem, que é uma condição fundamental para a apropriação de tais conteúdos e construção de aprendizagens significativas, o que corrobora com Guimarães (2009, p. 198) a referir-se que “a experimentação pode ser uma estratégia eficiente para a criação de problemas reais que permitam a contextualização e o estímulo de questionamentos de investigação”. Daí o valor pedagógico do emprego da metodologia experimental para obter o conhecimento sobre as regularidades e os novos feitos pedagógicos.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio-PCNEM (BRASIL, 2002) ressaltam que os conteúdos abordados no ensino de química não devem se resumir à mera transmissão de informações, a qual não apresenta qualquer relação com o cotidiano do aluno, seus interesses e suas vivências. Para uma educação que possibilita a inter-relação entre os conceitos e o cotidiano dos alunos pressupõe-se a necessidade de um ensino pautado na contextualização, esta baseia-se na construção de significados, incorporando valores que explicitem o cotidiano, com uma abordagem social e cultural, que facilitem o processo da descoberta. É levar o aluno a entender a importância do conhecimento científico e aplicá-lo na compreensão dos fatos que o cercam (SANTOS *et.al.*, 2011).

Conforme orientado pelo PCNEM no parágrafo anterior, optamos em trabalhar com uma doença de importância mundial em saúde pública, a anemia ferropriva (AF) que é o tipo de anemia decorrente da privação, deficiência, de ferro dentro do organismo levando à uma diminuição da produção, tamanho e teor de hemoglobina dos glóbulos vermelhos (hemácias). O ferro é essencial para a produção dos glóbulos vermelhos e seus níveis baixos no sangue comprometem todo processo de produção das hemácias. Dentro dos glóbulos

vermelhos existe uma proteína chamada hemoglobina que tem na sua estrutura bioquímica a presença de moléculas de ferro e de cobalto (o cobalto está presente na vitamina B12). A hemoglobina é a responsável pelo transporte do oxigênio que respiramos até todas as células do corpo humano. Na diminuição desta (hemoglobina) o transporte de oxigênio fica comprometido e várias consequências danosas serão desencadeadas. Estima-se que 90% das anemias sejam causadas por deficiência de ferro. A primeira medida no tratamento da anemia ferropriva é determinar e corrigir a causa da deficiência de ferro. Uma vez constatada a carência, é importante recomendar uma dieta rica nesse nutriente e prescrever sulfato ferroso por via oral. Raros são os casos em que o uso do medicamento por via endovenosa se faz necessário (BRASIL, 2013).

É importante que o professor conheça os interesses de seu público alvo, preparando aulas mais focadas, quebrando a rotina e levando os seus estudantes a uma nova interação com o saber, onde sua aula terá um diferencial, através de uma prática educacional renovada, por meio de metodologias alternativas (SANTOS, 2005). O uso das Tecnologias da Informação e Comunicação Móveis e sem Fio (TIMS) aumentam os desafios da realidade escolar. Educadores precisam se adequar a realidade desenhada pelas TIMS. Entre as TIMS, temos o celular, um aparelho popular, com aplicativos que podem vir a ser utilizados em sala de aula como recurso pedagógico (BENTO & CAVALCANTE, 2013). Neste sentido, o presente trabalho propõe uma atividade de aula prática contextualizada que englobe objetos envolvidos no cotidiano dos educandos. Neste estudo foi empregado um *smartphone*, aparelho que se tornou popular de uso diário dos alunos, como uma ferramenta analítica para a quantificação de Fe^{2+} em medicamentos, permitindo aos estudantes avaliar de forma crítica a qualidade dos medicamentos, gerando assim discussões importantes relacionadas à prática educativa, tecnológica e social.

2. PROBLEMATIZAÇÃO

Segundo Braathen (2016) no Brasil o ensino de química é muito teórico, o que é muito lamentável, levando em consideração que a química é uma ciência experimental. O modelo que preconiza o ensino de química tem forçosamente

que ter os três componentes – **EXPERIMENTAÇÃO, OBSERVAÇÃO e EXPLICAÇÃO**. O que se observa, no entanto, em nosso ensino de química no ensino médio é que predomina, na maioria das escolas, apenas o componente explicação (teoria), como se a construção desse conhecimento fosse causada diretamente pelo ensino do professor num processo de causa (o professor ensina) e efeito (o aluno aprende), como ilustrado pela figura 1.

Figura 1: Processo Ensino Aprendizagem como um fenômeno de causa e efeito



Fonte: Braathen (2016)

De acordo com Guimarães (2009) entende-se que se faz necessário um momento de estudo e organização das atividades escolares de modo que o celular não seja apenas um instrumento de entretenimento para os alunos. O celular pode ser um recurso didático a ser utilizado em diferentes momentos na escola, desde que conste no planejamento do plano de aula do docente e da instituição escolar.

Sendo a química uma ciência experimental é de enorme relevância que o professor não trabalhe unicamente a teoria. As aulas experimentais, em especial aquelas trabalhadas de forma contextualizadas e investigativa levam o aluno a uma aprendizagem significativa. Mesmo diante da falta de recursos financeiros e ausência de laboratórios tradicionais há a possibilidade de buscar métodos alternativos para as aulas laboratoriais.

Sabendo da importância da química analítica no ensino médio e do alto custo dos equipamentos, este estudo inicia-se com a seguinte pergunta: ***Será possível desenvolver um equipamento de baixo custo e de fácil aquisição e utilizar um aplicativo de celular (aparelho de uso popular), para realizarmos análises colorimétricas no ensino médio?***

3. JUSTIFICATIVA

Segundo Guimarães (2009), no ensino de ciências, a experimentação pode ser uma estratégia eficiente para a criação de problemas reais que permitam a contextualização e o estímulo de questionamentos de investigação. Nessa perspectiva, o conteúdo a ser trabalhado caracteriza-se como resposta aos questionamentos feitos pelos educandos durante a interação com o contexto criado. No entanto, essa metodologia não deve ser pautada nas aulas experimentais do tipo “receita de bolo”, em que os aprendizes recebem um roteiro para seguir e devem obter os resultados que o professor espera, tampouco apetercer que o conhecimento seja construído pela mera observação. Ao utilizar a experimentação, associando os conteúdos curriculares ao que o educando vivenciou, o educador trabalhará de forma contextualizada, pois não é o problema proposto pelo livro ou a questão da lista de exercício, mas os problemas e as explicações construídas pelos atores do aprender diante de situações concretas. A experimentação pode ser utilizada para demonstrar os conteúdos trabalhados, mas utilizar a experimentação na resolução de problemas pode tornar a ação do educando mais ativa.

Uma forma alternativa que torna possível alcançar os objetivos citados, facilitar o aprendizado do aluno e ainda complementar as aulas teóricas é o uso de diferentes recursos didáticos (Laburú & Zômpero, 2003) e, entre eles, pode-se citar a experimentação. Esse tipo de atividade permite que o aluno visualize algum fenômeno, discuta e analise a relação do conteúdo teórico com situações cotidianas. O uso de atividades práticas, tal como experimentos, também tem o papel de permitir uma aproximação e diálogo entre alunos e professores, levando à discussão de melhores estratégias de ensino para a melhor compreensão dos processos científicos (ROSITO, 2000).

As experiências despertam em geral um grande interesse nos alunos, além de proporcionar uma situação de investigação. Quando planejadas levando em conta estes fatores, elas constituem momentos particularmente ricos no processo de ensino e aprendizagem (DELIZOICOV, ANGOTTI, 2000, p. 22).

Segundo SABOIA *et al.* (2013) as alterações vividas na sociedade contemporânea referente ao uso da tecnologia, as interações sociais e as novas

demandas de mercado abrem portas para a inserção da tecnologia móvel em ambientes de aprendizagem, uma vez que a noção de tempo e espaço se modificou na concepção das novas gerações. Através do entendimento da necessidade de ampliar e repensar os modelos de ensino e aprendizagem existentes. As gerações mais novas demonstram alta familiaridade com uso de tais tecnologias, daí a necessidade de adaptar-se a esse novo formato, interagindo e ampliando a complexidade da educação através destes recursos.

Na concepção de BENTO (2013) o uso das Tecnologias da Informação e Comunicação Móveis e sem Fio (TIMS) aumentam os desafios da realidade escolar. Educadores precisam se adequar a realidade desenhada pelas TIMS. Entre as TIMS, temos o celular, um aparelho popular, com aplicativos que podem vir a ser utilizados em sala de aula como recurso pedagógico. Este aparelho converge vários aplicativos, entre eles, listamos alguns, os mais simples e considerados por nós de uso, também, na escola: calculadora, relógio, calendário, rádio, câmera fotográfica, jogos. Conforme o nível de sofisticação do aparelho os aplicativos aumentam. O acesso à internet possibilita a utilização de outros aplicativos, se fossemos relacioná-los aqui usaríamos muitas páginas. Mediante as facilidades da utilização de diferentes aplicativos no celular, fica nítida a possibilidade de sua utilização em sala de aula.

Diante disso, propõe-se a elaboração de um aparato que irá permitir a quantificação de um princípio ativo (sulfato ferroso) em fármacos utilizando como instrumento analítico um celular, mediante o uso de um aplicativo. Dessa forma há um alinhamento entre a experimentação e o uso das tecnologias móveis de forma contextualizada. Esse produto é uma proposta a ser aplicada no ensino de química e disciplinas afins para alunos do ensino médio como mais um recurso didático que vai facilitar o ensino e aprendizagem dos alunos. Nesse contexto há um desvencilhamento do ensino tradicional muito aplicado hoje, principalmente em escolas públicas, em que os alunos são meros expectadores.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo geral

- Propor uma aula prática para determinação de Fe^{2+} em fármacos empregando um smartphone como instrumento analítico.

4.2 Objetivos específicos

- Propor uma aula contextualizada e investigativa que abranja componentes e objetos envolvidos no cotidiano dos estudantes;
- Construir um equipamento simples e de baixo custo a partir da caixa do próprio celular para aquisição das imagens;
- Otimizar parâmetros operacionais do sistema e do processo de aquisição de imagens;
- Otimizar a reação colorimétrica sulfato ferroso-fenantrolina por meio de técnica de planejamento experimental;
- Validar a metodologia analítica para verificar sua precisão, seletividade, limite de detecção e exatidão ao comparar o método proposto com um método de referência;
- Elaborar um roteiro de aula prática para aula experimental no ensino médio.

5. METODOLOGIA

Prevê a combinação de diferentes procedimentos metodológicos buscando atender aos objetivos propostos. São eles:

- Pesquisa bibliográfica acerca do tema em estudo, a fim de compreender o desenvolvimento e aplicação dessa tecnologia educacional em outras situações do cotidiano;
- Pesquisa experimental com vistas à construção, otimização e validação da metodologia analítica utilizada;
- Elaboração de um roteiro de aula prática para aula experimental no ensino médio.

6. REFERENCIAL TEÓRICO

6.1. Importância da experimentação no ensino de química

Há mais de 2300 anos, Aristóteles já defendia a importância da experiência na construção dos saberes quando afirmava que “*quem possui a noção sem a experiência, e conheça o universal ignorando o particular nele contido, enganar-se-á muitas vezes no tratamento*” (ARISTÓTELES, 1979, p. 12).

Segundo Cachapuz, Praia e Jorge (2004), o trabalho experimental, nos seus vários formatos, é um instrumento privilegiado. No entanto, continua 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.

A experimentação no ensino de Química tem sido defendida por diversos autores, pois constitui um recurso pedagógico importante que pode auxiliar na construção de conceitos (FERREIRA *et al.*, 2010). No entanto, geralmente as atividades de laboratório são orientadas por roteiros predeterminados do tipo “receita”, sendo que para a realização dos experimentos os alunos devem seguir uma sequência linear, passo a passo, na qual o docente ou o texto determinam o que e como fazer. No ensino praticado dessa forma, dificilmente estão presentes o raciocínio e o questionamento, mas há apenas um aspecto essencialmente automatizado que induz à percepção deformada e empobrecida da atividade científica (Gil-Pérez *et al.*, 1999).

As atividades experimentais foram inseridas nas escolas, devido à forte influência de trabalhos desenvolvidos nas universidades cujo objetivo era o de melhorar a aprendizagem do conhecimento científico através da aplicação do que foi aprendido (GALIAZZI *et al.*, 2001). O investimento na pesquisa em Ensino de Química trouxe também resultados que mostram a importância da

experimentação para o processo de ensino-aprendizagem de Química e Ciências (GIORDAN, 1999).

De acordo com Oliveira (2010), a Experimentação apresenta algumas contribuições tais como: motivar e despertar a atenção dos alunos, desenvolver trabalhos em grupo, iniciativa e tomada de decisões, estimular a criatividade, aprimorar a capacidade de observação e registro, analisar dados e propor hipóteses para os fenômenos, aprender conceitos científicos, detectar e corrigir erros conceituais dos estudantes, compreender a natureza da ciência, compreender as relações entre ciência, tecnologia e sociedade, aprimorar habilidades manipulativas.

De acordo com os PCNEM a experimentação na escola média tem função pedagógica e a mesma pode só não solucionar o problema no processo ensino e aprendizagem, deve se ter o cuidado de caminhar o teórico e o prático lado a lado. É importante também ter o antes e o depois das aulas práticas para que o aluno possa fazer uma leitura do mais crítico e embasada do que foi assimilado.

6.2. Ensino contextualizado

De acordo com o referencial citado anteriormente contextualizar um conteúdo a ser aprendido é assumir que que todo conhecimento envolve uma relação sujeito e objeto.

Na concepção de Mortimer (2002), para que uma aprendizagem ocorra, deve ser significativa, o que exige compreensão de significado, relacionando-se às experiências anteriores e vivências pessoais dos alunos, permitindo a formulação de problemas de algum modo desafiantes que incentivem o aprender mais. Neste sentido, uso da Experimentação no ensino de Química e Ciências se tornou uma forma de despertar no estudante um maior interesse, desde que vinculadas à construção de um conhecimento científico em grupo, à possibilidade de promover discussões e investigações que permitam um enriquecimento do conhecimento a partir dos conhecimentos prévios do aluno. Entretanto, estas práticas não devem ser desvinculadas ao cotidiano dos estudantes, pois se não elas se tornam vazias de significado e sentido, tornando-se obsoletas e desmotivadoras.

O aluno deve participar ativamente do processo ensino aprendizagem, a teoria deve sempre que possível estar ligada ao dia a dia do aluno para que o mesmo deixe de ser um mero expectador. Devemos valorizar o conhecimento de mundo que nosso aluno tem, suas heranças sociais, culturais buscando sempre novas abordagens e metodologias, tornando as aulas mais atrativas promovendo um maior aprendizado.

6.3. Ensino por investigação

Dois tipos de experimentação são classicamente tratados durante o ensino superior na área de licenciatura em diferentes Ciências, sendo a experimentação investigativa e a ilustrativa (Delizoicov 1991, Giordan 1999, Francisco *et al.* 2008). Enquanto a experimentação investigativa é realizada anteriormente à teoria, a outra, ilustrativa, é realizada após a teoria. Apesar de ser pouco utilizada (Galiazzi *et al.* 2001), a experimentação não requer materiais caros ou de difícil acesso e não há necessidade de espaços específicos para a sua realização (Oliveira & Soares, 2010) possibilitando suas aplicações em sala de aula de forma fácil e acessível.

A prática investigativa é importante no processo ensino e aprendizagem, pois o aluno passa a observar seu cotidiano e pode propor mudanças ou mesmo ver os fatos de forma mais crítica, o que não se deve fazer são aulas práticas tradicionais em que o aluno não é tratado como protagonista e sim como expectador onde o professor passa um passo a passo, como uma receita e não gera discussões sobre o tema tratado.

Estas diferenças ficam evidentes quando se observa os conteúdos estudados, a forma como estes conteúdos são abordados, e todas estas questões refletem na postura passiva dos estudantes mediante alguns questionamentos e inquietações quando elas existem, diferentemente do cientista que tenta buscar respostas e soluções para questões ainda não descobertas. Lima e Munford (2007, p.6) afirmam: “O principal objetivo da escola é promover a aprendizagem de um conhecimento científico já consolidado, enquanto, por outro lado, o principal objetivo da ciência acadêmica é produzir novos conhecimentos científicos”. O certo é que nem sempre os estudantes possuem equipamentos sofisticados, reagentes químicos abundantes ou técnicas laboratoriais avançadas. Mas nem sempre isto é necessário para se

promover um ensino por investigação, o professor pode adaptar práticas com reagentes alternativos, pode trabalhar com os estudantes na construção dos próprios equipamentos e incentivá-los a amadurecer os conteúdos de forma crítica e construtiva (Ferreira *et al.* 2010). Portanto, é possível a aproximação entre estas duas ciências a partir de um caráter investigativo, e este fato colabora para que o ensino de ciências se tornar mais verdadeiro, significativo e formador (MUNFORD *et al.* 2007).

6.4. Inserção de novas tecnologias no contexto escolar

O século XXI é caracterizado, dentre outros fatores, pelas profundas e rápidas transformações no que tangem aspectos culturais, sociais e econômicos. Essa rápida e intensa transformação encontra subsídios especialmente nos recentes avanços tecnológicos que modificaram veementemente uma miríade de relações sociais, que perpassam inclusive pelo próprio espaço escolar (HARGREAVES, 2003). O advento e a rápida disseminação da tecnologia digital trouxeram mudanças na forma como as sociedades se organizam, os estudantes de hoje convivem com experiências novas que levam a rupturas ou em relação a realidade escolar.

As escolas podem oferecer acesso para que seus alunos participem de atividades com professores e outros estudantes de qualquer lugar do mundo. As tecnologias garantem às escolas a possibilidade de se abrirem e oferecerem educação para todos, indistintamente, em qualquer lugar, a qualquer tempo. O uso intensivo das mais novas tecnologias digitais e das redes transforma as dimensões da educação e dá à escola “o tamanho do mundo”. Em termos econômicos, essa escola é cara pois necessita de investimentos em equipamentos e treinamento de professores para o domínio técnico. Ainda assim esses investimentos não são suficientes deve-se ampliar as possibilidades de aprendizagem e o envolvimento de todos os que participam do ato de ensinar (KENSKI, 2007). A verdade é que a escola não acompanhou as mudanças ocorridas na sociedade, e este fato corrobora para com uma profunda contradição entre o mundo que o estudante vive dentro do contexto escolar e o mundo além dos muros da escola. De fato, a cultura escolar não está condizente e em consonância com esta conjuntura socioeconômica e tecnológica contemporânea por uma profusão de motivos, dentre eles pode-se citar a falta

de professores capacitados para utilização de novas tecnologias; uma escola que não recebeu investimentos suficientes para sua modernização e ainda convive com a realidade de “cuspe e giz”, além de um fator ideológico que está arraigado nas práticas de alguns docentes, que não entendem a importância da inserção de novas tecnologias para promover um aprendizado mais significativo.

Em síntese, convivemos com uma escola do século XIX, professores do século XX e estudantes do século XXI, e estes diferentes aspectos encontram-se contradições evidentes e perceptíveis e culmina em um ensino fracassado, pouco estimulante e nada contextualizado. Em alguns momentos, a escola se torna um “desmancha-prazeres”, quando, tudo o que os estudantes adoram, a escola detesta, questiona ou modifica (MORAN, 2015). Portanto, é necessário que os professores, a escola e os pais valorizem o que é valorizado pelos estudantes, promovendo “usos democráticos, mais progressistas e participativos das tecnologias”, estas ideias estão de acordo com Sancho (1998):

A prática docente deve responder às questões reais dos estudantes, que chegam até ela com todas as suas experiências vitais, e deve utilizar-se dos mesmos recursos que contribuíram para transformar suas mentes fora dali. Desconhecer a interferência da tecnologia, dos diferentes instrumentos tecnológicos, na vida cotidiana dos alunos é retroceder a um ensino baseado na ficção (SANCHO, 1998, p.40).

Estas novas necessidades de se modificar o processo de ensino e aprendizagem tornando-o mais dinâmico, contextualizado e vinculado à inserção de novas tecnologias está diretamente relacionado a profundas transformações no que tange à escola e sua infraestrutura, bem como o professor e seu papel no desafio de educar, que não deve ser vista como uma mera transferência de conhecimentos. A partir das ideias de Paulo Freire o ato de educar se baseia em um processo contínuo, dinâmico e que não acontece de forma independente, ninguém educa ninguém, assim como ninguém se educa sozinho, alguém só ensinará se houver alguém disposto a aprender. O ensinar e o aprender são atos recíprocos, que devem acontecer concomitantemente, são coletivos, os desejos, os sonhos, e os esforços devem estar presentes nesse processo.

“Não há docência sem discência, as duas se explicam e seus sujeitos, apesar das diferenças que os conotam, não se reduzem à condição de objeto, um do outro. Quem ensina aprende ao ensinar e quem aprende ensina ao aprender” (FREIRE, 1996, p.12)

Neste sentido, a inserção de novas tecnologias no ensino surge como uma ferramenta que além de facilitar o aprendizado dos educandos também contribui também de forma efetiva para reconstrução de um novo perfil docente, que está aberto a novos aprendizados, novos desafios e este processo de busca se consolida por meio de um processo integrado e contínuo na formação docente/discente. Estas ideias estão de acordo com Muller (2002):

[...] o relacionamento professor-aluno é dinâmico, cabendo ao professor ter sabedoria para lidar com cada situação que se apresente e ter em mente que deverá estar ligado no fato de que o ensinar não é apenas transmissão de conhecimentos, mas também um total envolvimento com situações e a formação de seus alunos como seres pensantes e atuantes, capazes de construir o seu conhecimento. (MULLER, 2002, p. 276)

Segundo Filatro e Cavalcanti (2018, p. 12), a evolução tecnológica tem provocado mudanças consideráveis na forma como crianças, jovens e adultos aprendem pela adoção um conjunto de metodologias ativas que permitem que estudantes e profissionais assumam o protagonismo de sua aprendizagem.

6.5. Celular em sala de aula: problema ou solução?

Com o advento do surgimento de novas tecnologias e o emprego das TIMS aumentou-se de forma significativa os desafios da realidade escolar. Educadores precisam se adequar a realidade desenhada pelas TIMS (CRISTINA *et al.*, 2013). Dentre elas, encontra-se o celular, um dos aparelhos eletrônicos mais utilizados no mundo e que surge como um recurso pedagógico interessante ao se observar os novos desafios que a educação apresenta (ALMEIDA; PRADO, 2005).

A inserção de novas tecnologias no ensino convive com uma dualidade intrigante. Por um lado, encontram-se professores pouco motivados a buscarem novas metodologias, por outro, existem estudantes inseridos em um mundo totalmente distinto aos recursos que a escola oferece (PIVA *et al.*, 2011). A escola apresenta empecilhos para inserção de novas tecnologias no processo de ensino e aprendizagem e estas dificuldades encontram-se enraizadas em uma cultura escolar tradicional e pouco inovadora. Moran (2013) afirma que:

Se já não bastassem as naturais dificuldades de incorporação de novas tecnologias no contexto escolar, em 2008 o Estado de São Paulo determinou a proibição do uso do celular pelos estudantes das escolas do sistema estadual de ensino durante as aulas, conforme consta no Decreto nº 52.625, de 15 de Janeiro de 2008 (CRISTINA *et al.*, 2013). Este decreto é apenas um reflexo da equivocada concepção da educação brasileira a respeito de refletir novas práticas educativas e de fazer educação com ações diferenciadas no contexto escolar. Neste sentido, uma pesquisa foi realizada em 2013 por Cristina e colaboradores com o intuito de verificar qual o nível de compreensão e de utilização de aparelhos celulares como recurso didático no contexto escolar. Os pesquisadores distribuíram um questionário para professores que atuam no Ensino Médio, em uma escola estadual pública, do Vale do Paraíba do Sul. A maioria dos professores, 86%, disseram que consideram o celular como um recurso pedagógico e a principal justificativa é que: “alguns modelos possuem internet e podem facilitar as pesquisas e dúvidas em sala de aula”. Dos 14% da população do estudo que desconsideram o celular um recurso pedagógico justificaram: “outros recursos deveriam ser melhor trabalhados em sala de aula, como os computadores da sala de informática, lousa digital etc.” (CRISTINA *et al.*, 2013).

Entretanto, apesar da maioria dos professores perceberem a importância do celular como recurso didático, a prática docente caminha por um caminho inverso, visto que 71% dos professores disseram que não permite o uso do celular. Entre as justificativas pela não permissão as respostas se dividem entre a proibição pelo Decreto nº 52.625, de 15 de Janeiro de 2008 e que o celular “atrapalha os alunos a prestarem atenção às aulas”, “muitos alunos em sala dificulta o controle por parte do professor” e “o acesso a esta tecnologia é só para alguns, além de ser um instrumento contra o professor e expor os colegas de classe”. Os professores que permitem o uso em sala de aula – 14% - “utilizam tradutor”, “fotografias, músicas e vídeos para aprimorar os conteúdos em sala e aula”, “uso da calculadora” (CRISTINA *et al.*, 2013).

Na perspectiva de Saccol, Schlemmer e Barbosa (2011, p.30): “*Em boa parte das instituições formais de ensino o uso de telefones celulares é restrito, por uma espécie de convenção social.*” Neste sentido, percebe-se que os celulares tornam-se um incômodo nas salas de aulas, sendo reconhecido pelos

professores como uma espécie de vilão. Devido à falta de estímulo dos estudantes para se atentarem às aulas, associada a um ensino pouco contextualizado, interdisciplinar e investigativo, o estudante se esconde atrás do celular como uma ferramenta de exclusão às aulas. Desta forma, o estudante o utiliza escondido e o professor transfere a culpa para os alunos e para os aparelhos eletrônicos. Esta é uma das alegações de alguns professores que são adversos à sua utilização, acreditando que se o estudante manuseá-lo durante as atividades educacionais ficará disperso, perdendo o controle de “sua” sala de aula (JESUS *et al.*, 2016).

É importante que o professor conheça os interesses de seu público alvo, preparando aulas mais focadas, quebrando a rotina e levando os seus estudantes a uma nova interação com o saber, onde sua aula terá um diferencial, através de uma prática educacional renovada, através de metodologias alternativas (SANTOS, 2005). A inserção de novas tecnologias na sala de aula, portanto deve ser mediada por um professor com práticas mais abertas, investigativas e dinâmicas, porque a simples inserção de um novo recurso tecnológico também não implica em resultados satisfatórios iminentes.

O emprego de tecnologias móveis, como celulares, *tablets*, *smartphones* no processo de ensino e aprendizagem apresenta algumas vantagens notáveis e se o professor souber mediar às atividades com eficiência, a aprendizagem certamente estará vinculada ao processo de ensinar, estabelecendo um ciclo essencial para evolução da educação brasileira. É evidente as vantagens de se empregar esta ferramenta como apoio para os processos educativos, o estudante pode estudar e rever conteúdos, assistir vídeos aulas em qualquer lugar e a qualquer hora, aproveitando assim horários livres tais como de espera ou de locomoção. O número de aplicativos educativos tem se tornado cada vez maiores e pode ser uma importante ferramenta para estudar determinados conteúdos. A maioria dos celulares possuem aplicativos de reações químicas, modelos atômicos, tabela periódicas interativas mostrando elementos químicos e suas mais diversas aplicações, funções orgânicas e inorgânicas, esquemas de sínteses, dentre tantos outros conteúdos. Portanto, os celulares podem ser um bom suporte para se promover um aprendizado mais significativo. Além disso, cada variante dos dispositivos móveis traz vantagens diferentes. Os telefones celulares, por exemplo, por serem aparelhos já bastante difundidos no mercado

e com preços relativamente acessíveis, permitem que diferentes pessoas, tanto de faixas etárias distintas quanto de classes sociais diversas, tenham acesso fácil aos conteúdos educacionais.

6.6. A carência do Sulfato ferroso (Fe²⁺)

A compreensão moderna sobre o metabolismo do ferro começou em 1937, com o trabalho de McCance e Widdowson sobre a absorção e excreção de ferro, bem como as determinações do ferro no plasma por Heilmeyer e Plotner (Beutler, 2002). Em 1947, Laurell descreveu uma proteína transportadora de ferro no plasma que denominou transferrina. Hahn *et al.* foram os primeiros a utilizar isótopos radioativos para quantificar a absorção do ferro e definir o papel da mucosa intestinal na regulação dessa função. Na década seguinte, Huff *et al.* iniciaram estudos isotópicos do metabolismo interno do ferro. O desenvolvimento subsequente de determinações clínicas práticas dos níveis séricos de ferro, da saturação da transferrina, ferritina plasmática e protoporfirina eritrocitária permitiu a definição e detecção do estado das reservas corporais de ferro e da eritropoiese com deficiência de ferro (GOODMAN & GILMAN, 2007).

O paradigma historicamente mais remoto dos modelos de prevenção e tratamento consistiria no emprego de um prego implantado em um limão, utilizando-se o suco da fruta no dia seguinte, constituindo uma engenhosa estratégia de uso simultâneo de ferro (a conhecida “ferrugem”, que manchava de vermelho escuro o limão) e vitamina C, até então desconhecida. É também desta fase a recomendação de se usar o sangue e vísceras dos animais na alimentação como meio de combater as anemias. Estas experiências precederam a utilização farmacológica do ferro em escala industrial, mediante diferentes combinações de compostos orgânicos e inorgânicos do metal (BATISTA FILHO & FERREIRA, 1996).

Segundo o Protocolo Clínico e Diretrizes Terapêuticas (Portaria SAS/MS nº 1.247, de 10 de novembro de 2014) a anemia é definida por valores de hemoglobina (Hb) no sangue abaixo do normal para idade e gênero. É um dos principais problemas de saúde pública mundial, chegando a afetar mais de um quarto da população do planeta, ou seja, mais de 2 bilhões de pessoas em todo o mundo. A metade dos casos é determinada por deficiência de ferro (DF), a deficiência nutricional mais prevalente e negligenciada no mundo,

particularmente entre as mulheres e as crianças dos países em desenvolvimento. É também significativamente prevalente nos países industrializados e afeta pessoas de todas as idades em todos os países. A prevalência de anemia por DF (ADF) aumenta em populações com carências nutricionais; com ingestão ou absorção inadequada de ferro; hábitos vegetarianos; dietas com muito chá ou café, que inibem a absorção de ferro, ou sem vitamina C (frutas cítricas), que favorece a sua absorção; baixo nível sócio-econômico e educacional; presença de infestações endêmicas (malária, ascaridíase, helmintoses, protozooses intestinais); estado nutricional influenciado pelo baixo peso, principalmente de mulheres em idade gestacional, associado à multiparidade e não uso de suplementação de ferro na gestação. Além disto, a ADF pode ser causada por hemorragias diversas, como as devidas a traumas ou por melena, hematêmese, hemoptise, menstruações, partos ou por múltiplas gestações. Pode também apontar para uma doença grave subjacente com sangramento oculto, que deve ser afastada com investigação adequada em homens e mulheres na pós-menopausa, principalmente no que diz respeito ao diagnóstico precoce da doença maligna colo retal. Independente da etiologia, quando o sangue tem células vermelhas insuficientes ou estas carregam hemoglobina insuficiente para entregar oxigênio adequadamente para os tecidos significa que houve falha na produção das hemácias e sobrevém anemia, muitas vezes multifatorial num mesmo indivíduo e por isto uma síndrome complexa para avaliação e estabelecimento da conduta a adotar (BRASIL, 2013).

A Pesquisa Nacional de Demografia e Saúde (PNDS) de 2006 mostra que a prevalência de deficiência de ferro entre crianças menores de 5 anos no Brasil é de 20,9%, com prevalência de 24,1% em menores de 2 anos e de 29,4% das mulheres férteis. No entanto, outros estudos brasileiros apontam para uma mediana da prevalência de anemia em menores de 5 anos de 50%, chegando a 52% nas crianças que frequentam escolas ou creches e 60,2% nas que frequentam Unidades Básicas de Saúde. Em estudo clínico randomizado realizado em Goiânia em 2008, crianças entre 6 e 24 meses constituem o grupo mais vulnerável, apresentando prevalência de 56,1%. A prevalência geral no Brasil varia entre 30% e 69%, dependendo do tipo de comunidade estudada. A identificação de fatores de risco e da doença em seu estágio inicial e o encaminhamento ágil e adequado para o atendimento especializado dão à

Atenção Básica um caráter essencial para um melhor resultado terapêutico e prognóstico dos casos (BRASIL, 2013).

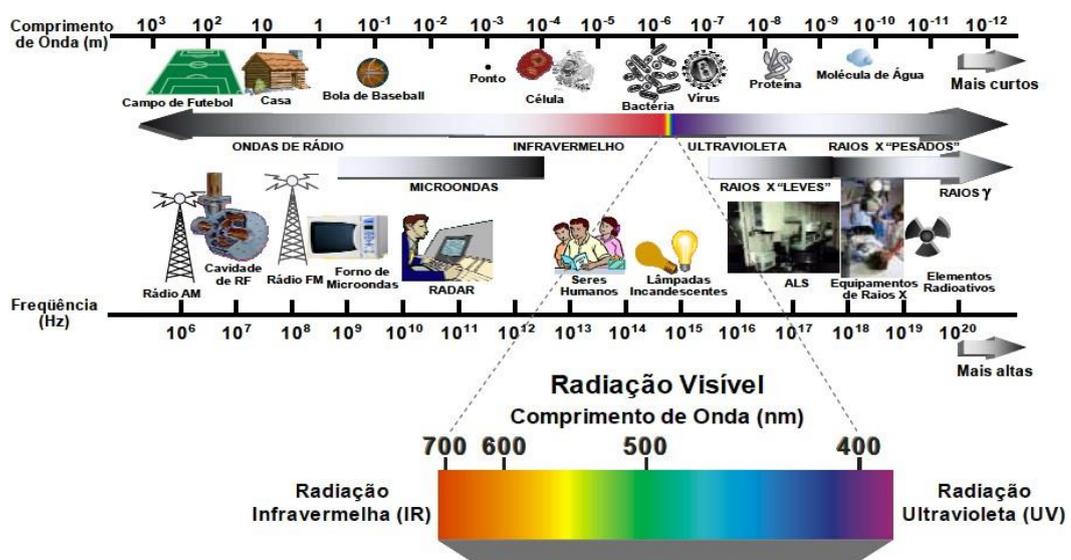
6.7. Métodos digitais de análise empregando spot tests

Para um entendimento mais amplo a respeito do funcionamento de métodos digitais envolvendo *spot tests* na Química Analítica como ferramenta de detecção de analitos, é importante entender como funciona o processo de formação das cores e como estas chegam ao detector das câmeras digitais.

6.7.1. Teoria das cores

A cor de uma imagem pode ser definida como a percepção humana da combinação de comprimentos de onda no espectro eletromagnético na região da luz visível que reflete sobre uma superfície (DAMASCENO *et al.*, 2015). Portanto, a cor pode ser entendida como a aparência subjetiva da luz, sendo detectada pelo olho após interação da radiação com a matéria. A faixa do espectro eletromagnético à qual o sistema visual humano é sensível se estende aproximadamente de 400 a 700 nm, sendo denominada região visível (TILLEY, 2011), conforme mostrado na figura 2.

Figura 2: Espectro eletromagnético destacando a região da radiação visível



Fonte: QUEIROZ & GOMES, 2006.

Uma substância colorida absorve seletivamente comprimentos de onda da região visível do espectro eletromagnético e a coloração resultante, a qual é conhecida como cor complementar, é composta pelos comprimentos de ondas restantes, ou seja, pelos comprimentos de onda que são refletidos pela substância (GOMES *et al.*, 2008). De fato, se a cor exibida por uma determinada solução é vermelha, por exemplo, o canal que tem a maior absorção é o verde (cor complementar). Neste caso a cor verde é absorvida pela solução e a cor vermelha refletida até os olhos ou detector digital. A figura 3 demonstra um diagrama de cores complementares.

Figura 3: Diagrama esquemático que elucida as cores primárias e complementares no espectro eletromagnético do visível



Fonte: ALMEIDA *et al.* (2013)

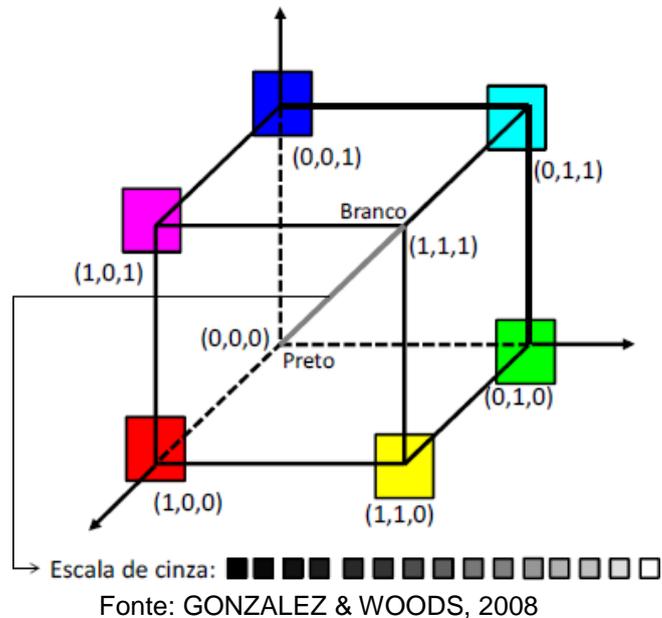
6.8. Modelo de cor em RGB em imagens digitais

As imagens digitais coloridas podem ser representadas por diferentes modelos de cores, tais como RGB (do inglês red, green e blue), CMY (do inglês cyan, magenta e yellow) HLS (do inglês hue, lightness e saturation), HSV (do inglês hue, saturation, value), HSI (do inglês hue, saturation, intensity) (PACIORNIK *et al.*, 2006) os quais foram criados para permitir a especificação das cores em um formato padronizado (GONZALEZ; WOODS, 2008).

O modelo RGB é reconhecido como o sistema de cor mais amplo e mais aceito (LOPEZ-MOLINERO *et al.*, 2010). Neste modelo, são empregadas as cores primárias vermelha, verde e azul, sendo utilizada a luz transmitida para exibição das cores (YAM; PAPADAKIS, 2004), e as demais cores são geradas pela combinação linear destas três cores, motivo pelo qual o modelo é dito aditivo. As intensidades das cores geradas são armazenadas em 256 níveis,

sendo adotada uma escala de 0 a 255, na qual 0 representa a cor preta pura e 255 representa a cor branca pura. (PACIORNIK *et al.*, 2006).O modelo RGB pode ser representado em um espaço tridimensional cúbico, conforme mostrado na figura 4.

Figura 4: Representação geométrica do modelo de cores RGB



6.9. Métodos analíticos baseados em imagens digitais

A química analítica tem buscado por métodos simples, de baixo custo, precisos e exatos. A aplicação dessa ciência de forma mais ampla depende do custo dos equipamentos que hoje são de elevado custo, portanto, os dispositivos digitais amplamente utilizados na sociedade, em especial o smartphone, pode ser um caminho alternativo para que possamos difundir em escolas do ensino médio como mais uma alternativa no processo de ensino e aprendizagem. Neste sentido, o desempenho de dispositivos digitais, tais como câmeras fotográficas, *webcams*, *scanners* e celulares com câmeras fotográficas embutidas tem melhorado significativamente nos últimos, enquanto seus custos têm reduzido (PACIORNIK *et al.*, 2006).

O uso de imagens digitais representa uma oportunidade atual para o desenvolvimento rápido e direto de determinações quantitativas, particularmente

quando combinadas com métodos colorimétricos ou cromogênicos que podem ser analisados a partir de dados do modelo de cores RGB, HSV, HSY entre outros (LOPEZ-MOLINERO *et al.*, 2010). O emprego de imagens digitais tem sido amplamente utilizados na Química Analítica para quantificação dos mais diversos analitos, como nos setores: alimentício (ALÇIÇEK; BALABAN, 2015; CRUZ-FERNÁNDEZ *et al.*, 2017; KUCHERYAVSKIY; MELENTEVA; BOGOMOLOV, 2014); farmacêutico (SIMA; CASONI; SÂRBU, 2013; SOUZA, FABRÍCIO RIBEIRO DE *et al.*, 2014); química forense (CHOODUM *et al.*, 2014), bioquímica (MATHAWEESANSURN; MANEERAT; CHOENGCHAN, 2017), agricultura e ciência do solo (CHOODUM *et al.*, 2013; RIBEIRO *et al.*, 2011), análises biológicas (SUMRIDDETCHKAJORN; CHAITAVON; INTARAVANNE, 2014) e determinação de analitos diversos (ANDRADE *et al.*, 2013; TANG *et al.*, 2010).

6.10. Spot tests

O *spot test* é um método aplicado a reações químicas sensíveis e seletivas, cuja principal característica é a manipulação de pequenos volumes do analito e do(s) reagente(s) (ZERAİK *et al.*, 2008).

Os *spot tests* são procedimentos extremamente simples, rápidos e de baixo custo, aplicáveis tanto para compostos orgânicos como inorgânicos (ZERAİK *et al.*, 2008) e podem ser realizados em equipamentos portáteis (construídos até mesmo em casa) para análises *in situ* (LUIZ; PEZZA; PEZZA, 2013).

6.11. Planejamentos experimentais

Devido à crescente necessidade de se buscar métodos e procedimentos simples e baratos, com baixo consumo de reagentes visando a minimização de custos e de descartes químicos indesejáveis, os planejamentos experimentais tem se tornado uma ferramenta importante na química e em outras ciências (BOX; DRAPER, 1987).

6.12. Emprego de métodos digitais no ensino da química

Os *smartphones* são dispositivos que fazem parte do contexto da vida dos estudantes. Muitas escolas ainda se demonstram receosas com a utilização deste aparato eletrônico durante o percurso escolar, mas é evidente que esses dispositivos têm muitos recursos valiosos e possui um enorme potencial para uso na educação química (KEHOE; PENN, 2013; KOESDJOJO *et al.*, 2015; MORAES; CONFESSOR; GASPAROTTO, 2015).

O número de trabalhos que utilizam análise de imagens digitais para fins de experimentação química e voltadas para práticas escolares tem crescido nos últimos anos. Além disso, como computadores e celulares tem se tornado cada vez mais rápidos e sofisticados, associados ao baixo custo destes equipamentos frente à equipamentos analíticos tradicionais como espectrofotômetros, tem se percebido um relativo aumento destas tecnologias em um contexto escolar. Entretanto, este crescimento ainda é pequeno frente às várias vantagens no emprego destes recursos como ferramentas pedagógicas (MORAIS *et al.*, 2016).

Em um dos primeiros e mais notórios trabalhos na área, Kehoe e Penn (2013) a partir de câmeras digitais e celulares propuseram um experimento para determinar concentração de soluções de corante alimentar azul, bebida esportiva de limão e cloreto de ferro (III). A abordagem fornece um método fácil para a realização de análise colorimétrica em uma ampla gama de configurações, a partir do laboratório de química no ensino médio, no campo e no laboratório de pesquisa (KEHOE; PENN, 2013).

Campos e colaboradores desenvolveram um trabalho para quantificar a concentração de nanopartículas de ouro com adição de aplicações gratuitas do Google, a investigação fornece uma experiência de laboratório viável e sofisticada referente à introdução de nanotecnologia no ensino (CAMPOS *et al.*, 2016).

Montangero (2015) desenvolveu um trabalho para determinação de cobre dissolvendo o metal em ácido nítrico, gerando uma solução azulada. A partir disso foi possível determinar a concentração do metal com foco na tonalidade da cor utilizando uma câmera de um *smartphone*. Um aplicativo livre foi empregado para medir a tonalidade da solução, e com a ajuda de soluções padrão de Cu^{2+} ,

construiu-se uma curva de calibração para determinar a concentração do metal em solução e calcular a massa de cobre que foi dissolvido ou, por exemplo, a percentagem de cobre numa liga (MONTANGERO, 2015). O método foi útil para detectar altas concentrações do analito em matrizes ricas do metal como ligas metálicas.

Moraes e colaboradores propuseram uma aula experimental com caráter investigativo baseado em uma experiência interdisciplinar para avaliar a taxa de corrosão do prego de ferro em água de mar simulada. O procedimento oficial baseou-se na medição direta da perda de peso da amostra ao longo do tempo. Contudo, foi necessária uma escala muito precisa e tal equipamento pode não estar facilmente disponível. Por outro lado, telefones celulares equipados com boas câmeras embutidas se tornaram uma parte essencial da vida cotidiana de estudantes e educadores. Com as câmeras embutidas, os estudantes seguiram a formação do complexo colorido a partir da reação entre íons de ferro liberados e 1,10-fenantrolina. As imagens foram então decompostas nos canais RGB que foram usados como sinal analítico (MORAES; CONFESSOR; GASPAROTTO, 2015).

7. PARTE EXPERIMENTAL

7.1. Reagentes e amostras

Utilizou-se os seguintes reagentes químicos: ácido ascórbico - $C_6H_8O_6$, fenantrolina 1,1 (ORTO) - $C_{12}H_8N_2$ e sulfato ferroso amoniacal hexahidratado - $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ sendo todos de grau analítico e foram empregados sem purificação adicional. Foram preparadas soluções estoque de ácido ascórbico $5 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$, fenantrolina $5 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ e sulfato ferroso amoniacal $1 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ conforme mostrado na figura 5. O método validado foi utilizado para determinação de Fe^{2+} em três diferentes marcas de fármacos contendo sulfato ferroso comprados em drogarias de Viçosa-MG, sendo duas marcas na forma de comprimido e uma na forma de xarope, a saber: Anemifer (Pharmascience Laboratórios Ltda), Nesh Ferro (Medicamen Biotech Ltda) e Sulferrol (Bunker Industria Farmacêutica Ltda) conforme ilustrado na figura 6.

Para as análises dos comprimidos 10 comprimidos foram devidamente pesados e posteriormente macerados. Para abertura da amostra foi empregado uma solução ligeiramente ácida, contendo 1 mL de HCl, 37% v/v em 50 mL de água e colocado sob agitação durante 10 minutos. Após este tempo, os comprimidos foram filtrados e a solução resultante foi diluída para um balão volumétrico de 100 mL. Para a análise do xarope, a amostra foi preparada simplesmente diluindo uma quantidade adequada do medicamento para um balão volumétrico de 100 mL. Todas as soluções das amostras foram preparadas em uma concentração de $1 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$.

Figura 5: Soluções estoque de ácido ascórbico, sulfato ferroso amoniacal e fenantrolina



Fonte: Elaboração própria, 2019.

Figura 6: Fármacos analisados



Fonte: Elaboração própria, 2019

7.2. Equipamentos

Os equipamentos utilizados foram:

- balança analítica, modelo TKS. Para aplicações analíticas de processo e testes de qualidade com maior precisão.
- espectrofotômetro digital COLEMAN 35-D. Com faixa de comprimento de onda: 330 - 1000 nm (nanômetro); precisão de comprimento de onda: ± 2 nm; repetibilidade de comprimento de onda: ± 1 nm; banda Passante: 6 nm (nanômetro); função: Transmitância / Absorbância/Concentração; faixa de leitura: 0 à 100.0% T - 0 à 1.999 A - 0 à 1999 C - 0 à 1999 F; monocromador: Grade de reflexão; lâmpada: Halogênio 6V/10W; volume da Amostra: ± 1 ml; cubeta quadrada: 10x10x45mm.
- smartphone Galaxy J7 Prime
- caixa de celular

Figura 7: Balança, espectrofotômetro, celular e caixa



Fonte: Elaboração própria, 2019.

7.3. Otimização da Aquisição de Imagens

Para garantir a reprodutibilidade da aquisição das imagens digitais todo o sistema fotométrico foi otimizado. Para evitar efeitos de luminosidade externa, a própria caixa do celular com dimensões aproximadas de 12 x 7 x 6 cm foi utilizada para construção do aparato. Para iluminação do sistema a função *flash*

da câmera do celular foi habilitada dispensando assim qualquer tipo de iluminação interna tornando a construção do sistema mais simples, sem a necessidade de um conhecimento técnico do estudante.

Na parte superior da caixa foi feita uma abertura arredondada adequada para o encaixe do smartphone para efetuar a captura das imagens. Além disso, foi utilizado uma fita adesiva para evitar a movimentação do *smartphone*. O movimento do celular deve ser expressamente evitado em qualquer momento do procedimento, pois pequenas movimentações podem causar maior ou menor influência da luminosidade dentro do equipamento devido à movimentação da saída de luz do próprio *smartphone*. Caso isso aconteça, os valores RGB serão alterados e o procedimento deve ser refeito.

Não foi necessário aplicar uma tinta preta no interior da caixa, visto que a caixa internamente já apresentava esta cor. Caso haja necessidade pode-se aplicar na parte interna do equipamento, uma camada de tinta preta fosca que possibilita melhor distribuição de luz no ambiente, visto que a cor preta absorve toda radiação eletromagnética visível (luz), ademais, promove um decréscimo dos reflexos dentro do equipamento que poderiam prejudicar a qualidade das imagens capturadas.

Todas as reações foram realizadas diretamente em uma tampa plástica reutilizada de vidrarias do laboratório. A tampa foi acoplada dentro da caixa do próprio celular de forma a coincidir com o orifício para captura da imagem pelo flash de forma a garantir que todas as fotos fossem obtidas na mesma posição dentro do equipamento. Os padrões e as amostras foram fotografados com uma câmera de celular Samsung Galaxy J7 de resolução 13 Megapixels. A figura 8 demonstra o sistema construído para aquisição das imagens.

Figura 8: Sistema construído para a captura de imagem. Representação ilustrativa da câmara interior usadas para obtenção das imagens digitais



Fonte: Elaboração própria, 2019.

7.4. Análise das Imagens Digitais – Photometrix

O Photometrix é um aplicativo criado para *smartphones* aplicáveis às plataformas do tipo Android, Windows Phone e Silverlight. Este software comercial livre despontou como uma ferramenta móvel interessante para adquirir e tratar dados químicos com exatidão, precisão e rapidez.

O aplicativo permite ao usuário fazer calibrações do tipo univariada por padrão externo, que partem de modelos simples e buscam resolver problemas químicos não muito complicados, como determinação na ausência de interferentes e sem efeito de matriz na amostra aplicada. O programa também possibilita o usuário fazer análises do tipo multivariada, que partem de modelos mais complexos para fazer determinações mais complexas e que apresentam alguns percalços, como possibilidade de interferentes e efeitos de matriz.

Como este trabalho busca desenvolver uma aula experimental, o modelo a ser explorado trata-se do univariado. O photometrix permite fazer a leitura de cada imagem no decorrer do processo de calibração e decompor a cor da imagem fotografada em variáveis separadas dos sistemas de cores RGB, HSV, HSI e HSL. Esta decomposição é feita pelo próprio programa e à medida que o usuário registra a imagem, instantaneamente já parece no canto superior direito da tela do *smartphone* os valores médios RGB para foto registrada, possibilitando o usuário acompanhar o processo em tempo real e avaliar qualitativamente o processo de calibração. Isso acontece porque ao se proceder a calibração na ordem crescente de concentração, os canais RGB que responderem para reação terão seus valores diminuídos. Em uma reação colorimétrica que apresente como produto um complexo de cor laranja, por exemplo, terá o canal B (cor complementar ao laranja) sensivelmente diminuído à medida que se aumenta a concentração do analito. Além disso, o programa permite escolher o número de concentrações do padrão que serão utilizadas e também as dimensões da área selecionada que será utilizada para aquisição de dados em todas as imagens.

7.5. Calibração Univariada Empregando o Photometrix

A calibração de um sistema colorimétrico empregando o PhotoMetrix é simples, embora esteja programado em língua inglesa. A Figura 9 ilustra o procedimento.

Figura 9: Ilustração das etapas para calibração univariada empregando aplicativo PhotoMetrix



Fonte: Elaboração própria, 2019.

Ao abrir o aplicativo, o usuário deve selecionar a opção “Univariate Analysis”, em seguida deve-se clicar em “Calibration” para prosseguir com o processo de calibração. E um terceiro momento, deve-se escolher o número de amostras (pontos na curva analítica) que serão utilizados na curva de calibração. Recomenda-se deixar este valor igual à 5, como sugerido pelo próprio programa e em seguida seguir para “Capture images”. Em seguida, deve-se proceder com a construção da curva diretamente na tampa plástica, iniciando com a captura de imagens em ordem crescente de concentração de Fe^{2+} .

Após todos os reagentes serem misturados e esperar o tempo de reação adequado, as tampas plásticas devem ser introduzidas uma a uma na caixa para captura da imagem. Posteriormente o material deve ser descartado em local adequado e as tampas lavadas para serem reutilizadas. Após capturar todas as cinco imagens no processo de calibração, o programa exibirá os modelos de calibração obtidos para todos os canais decompostos pelo software.

Após a construção da curva de calibração pode-se analisar as amostras do fármaco sulfato ferroso para verificar os teores de Fe^{2+} . Para isso, foram misturados volumes apropriados de água, ácido ascórbico, fenantrolina e do medicamento, em seguida já se introduziu a tampa plástica no interior da caixa para captura da imagem. A reação é instantânea por esse motivo não precisa esperar um tempo longo para efetuar as leituras. Como pode ser observado na

figura 9, após o término da captura das imagens, os modelos de regressão são exibidos e pode-se então seguir para etapa de amostragem, definida anteriormente, clicando em “Sampling”. Em seguida, deve-se escolher um modelo de calibração que apresente alto coeficiente de regressão ($>0,99$) e o aplicativo fará a previsão da concentração do metal presente no medicamento.

7.6. Otimização do Processo de Análise de Imagem

Para otimizar o processo de análise das imagens obtidas, calibrou-se o equipamento avaliando a variação no tamanho da área selecionada, local de seleção das imagens e disposição da tampa plástica no sistema.

7.6.1. Variação no tamanho da área selecionada

Inicialmente, foram estudadas as possíveis alterações na resposta analítica quando submetida à variação no tamanho da área selecionada na imagem da placa de porcelana. Ao mudar as dimensões de 32x32, 64x64, 96x96 pixels, foi observado que para regiões homogêneas não há alterações na resposta analítica oferecida pelos canais RGB. Em contrapartida, caso haja variações, provenientes de reflexos, sombras e outros tipos de alteração na região da área selecionada haverá profundas diferenças entre as respostas analíticas obtidas. Este resultado também foi observado em estudos similares (FRANCO; SUAREZ; SANTOS, 2016). Em termos práticos, se o analista notar a existência de reflexos ou uma distribuição de luz muito heterogênea, preferencialmente deve-se optar por um delimitado de área menor, e tentar posicionar o foco sempre na mesma região para evitar efeitos negativos na qualidade da imagem gerada no processo de calibração.

7.6.2. Local de seleção das imagens e disposição da tampa plástica no sistema

A distribuição de luz do sistema provém unicamente da função *flash* habilitada no *smartphone* e por isso a intensidade de luz recebida é diferente em cada região do equipamento. Procurou-se identificar quais regiões poderiam apresentar melhores condições de trabalho, ou seja, regiões com poucos

reflexos, homogêneas, mas que contemplem intensidade de luz suficiente para aquisição das imagens. A disposição da tampa plástica foi também estudada, assim como o local de seleção de imagem. Buscou-se identificar qualitativamente a região da caixa que apresentava maior incidência luminosa que poderia prejudicar a qualidade das imagens adquiridas.

7.7. Otimização de Parâmetros Operacionais do Sistema

Os parâmetros operacionais do sistema foram avaliados empregando-se o corante Azul Brillhante . Foi preparado soluções padrão de concentração $1 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ através da dissolução do respectivo corante em água destilada, sendo as demais soluções obtidas a partir de diluições das soluções estoque. Nesta etapa, avaliou-se os seguintes parâmetros: volume de solução nas cavidades da placa e influência da luminosidade externa. Todos os ensaios foram realizados em triplicata ($n=3$).

7.7.1. Volume de solução nas cavidades da tampa de plástico

Para avaliar o efeito do volume de amostra sobre a resposta analítica, variou-se o volume da solução do corante Azul Brillhante na concentração de $1 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ em volumes de 600, 700 e 800 μL nas cavidades das tampas plásticas.

7.7.2. Influência da luminosidade externa

Para verificar a eficácia da caixa preta na captura de imagens empregou-se uma solução do corante Azul Brillhante na concentração de $1 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ e verificou-se o sinal analítico em três ambientes distintos: ambiente de trabalho, ambiente escuro e ambiente com luminosidade pronunciada. Desta forma avaliou-se o impacto efetivo dos efeitos de luminosidade externa na qualidade das imagens capturadas. A resposta foi avaliada empregando o coeficiente de variação, que é uma medida de dispersão empregada para verificar a variância dos resultados em torno de uma média. O coeficiente de variação percentual é calculado através da equação 1:

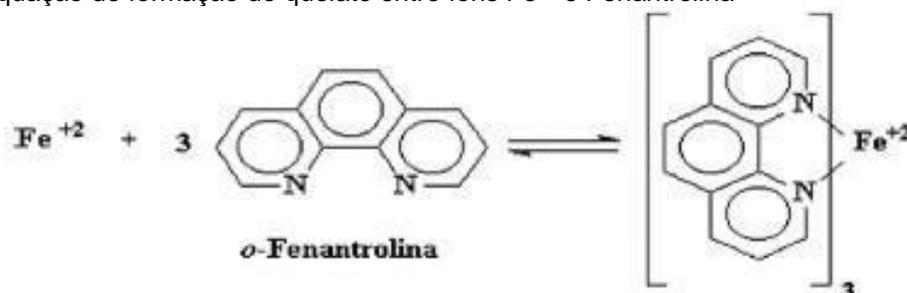
$$CV(\%) = \frac{SD}{m} X 100 \quad (1)$$

7.8. Determinação Fe²⁺ em sulfato ferroso

7.8.1. Otimização das condições reacionais

Para a determinação de Fe²⁺ em sulfato ferroso empregou-se como ligante a fenantrolina, formando o quelato [Fe(fen)₃]²⁺, chamado "ferroína," usado para a determinação de ferro divalente (Fe²⁺), sendo este um reagente orgânico bidentado, que forma com o ferro um quelato alaranjado, conforme mostrado na Figura 10.

Figura 10: Equação de formação do quelato entre íons Fe²⁺ e Fenantrolina



Fonte: BREITKREITZ, et al. (2014)

Em um primeiro momento, buscou-se obter condições reacionais ótimas para se promover com exatidão, precisão e robustez um procedimento analítico capaz de determinar Fe²⁺ em fármacos (sulfato ferroso). Neste sentido, um planejamento experimental foi proposto para se atingir as melhores condições reacionais, as variáveis estudadas foram: (i) concentração de fenantrolina, (ii) concentração de ácido ascórbico e (iii) tempo reacional para formação e estabilidade do quelato formado. Todo o planejamento experimental foi realizado com concentração de ferro $1 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$. A resposta analítica foi obtida com os valores RGB apresentados pelo aplicativo PhotoMetrix empregando o canal com maior sensibilidade para a reação.

7.8.2. Análise de amostras de Fe²⁺ em fármacos

Para a análise dos fármacos, estes foram diluídos a uma solução $1 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$. A solução da amostra foi substituída pelo mesmo volume de amostra na concentração $6 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$.

7.9. Validação do método

Os procedimentos realizados na validação do método foram baseados em diversas orientações propostas no documento DOQ-CGCRE-008 do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO, 2011) e na Resolução RE nº899 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2003).

8. RESULTADOS E DISCUSSÃO

8.1. Otimização da análise das imagens

Para otimizar o processo de análise das imagens obtidas, calibrou-se o equipamento avaliando a variação no tamanho da área selecionada, local de seleção das imagens e disposição da tampa plástica no sistema.

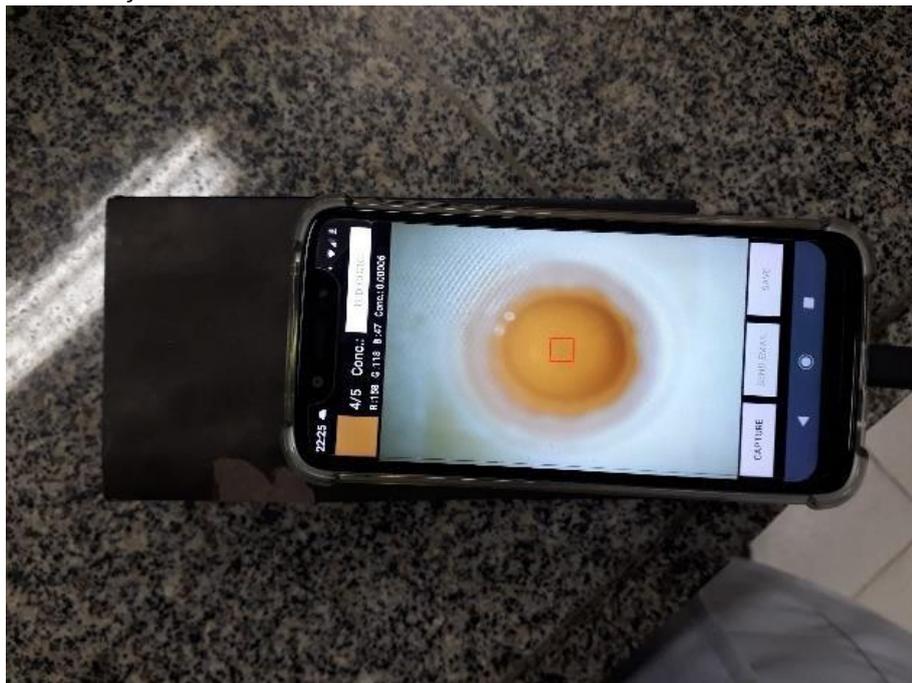
8.1.1. Variação no tamanho da área selecionada

Inicialmente, foram estudadas as possíveis alterações na resposta analítica quando submetida à variação no tamanho da área selecionada na imagem da tampa de plástico. Ao mudar as dimensões de 32x32, 64x64, 96x96 pixels, foi observado que para regiões homogêneas não há alterações na resposta analítica oferecida pelos canais RGB. Em contrapartida, caso haja variações, provenientes de reflexos, sombras e outros tipos de alteração na região da área selecionada haverá profundas diferenças entre as respostas analíticas obtidas. Este resultado também foi observado em estudos similares (FRANCO; SUAREZ; SANTOS, 2016). Em termos práticos, se o analista notar a existência de reflexos ou uma distribuição de luz muito heterogênea, preferencialmente deve-se optar por um delimitado de área menor, e tentar posicionar o foco sempre na mesma região para evitar efeitos negativos na qualidade da imagem gerada no processo de calibração.

8.1.2. Disposição da tampa plástica no sistema

Foi avaliado qualitativamente a distribuição de luz no sistema construído. Uma imagem foi adquirida para verificar a homogeneidade para aquisição das imagens e posteriormente fixar a tampa plástica no sistema. A figura 11 representa a distribuição de luz no sistema.

Figura 11: Distribuição de luz no sistema



Fonte: Elaboração própria, 2019.

Como pode se observar na figura 11, o sistema apresenta uma distribuição de luz uniforme, que advém unicamente da função *flash* do celular, neste caso, especificamente localizada na parte superior esquerda do *smartphone*. Observa-se uma boa incidência luminosa o que garante uma eficiência nas análises de imagens digitais.

8.2. Otimização de parâmetros operacionais dos sistemas

Nesta etapa, avaliou-se os seguintes parâmetros: volume de solução nas cavidades da tampa de plástico e influência da luminosidade externa.

8.2.1. Volume de solução na cavidade da tampa

Para avaliar o efeito do volume de amostra sobre a resposta analítica, variou-se o volume da solução do corante Azul Brilhante 10^{-5} mol L⁻¹ em volumes de 600, 700 e 800 μL^{-1} nas cavidades da placa de porcelana. Os resultados deste estudo estão mostrados na tabela 1.

Tabela 1: Respostas dos canais RGB em diferentes volumes de solução

Volume (μL)	Canal		
	R	G	B
600	69	63	83
700	67	61	82
800	68	61	80
CV (%)	1.20	0.94	1.53

Fonte: Elaboração própria, 2019.

Como pode ser observado, todos os volumes testados apresentaram resultados bem similares, o que pode ser verificado através do coeficiente de variação inferior à 2%. Desta forma, qualquer volume estudado pode ser utilizado.

Optou-se por 700 μL , um valor intermediário, pois volumes mais baixos atendem ao fato de gerar menor quantidade de resíduos, mas como o público alvo são estudantes, volumes baixos são mais propensos a erros de pipetagens.

É importante ressaltar que o método utiliza um volume cerca de três vezes menor que os métodos tradicionais como o espectrofotômetro.

8.2.2. Influência da luminosidade externa

Para verificar uma possível interferência da luminosidade externa na resposta analítica, empregou-se uma solução de azul brilhante na concentração de 1×10^{-5} mol L⁻¹ submeteu-se o equipamento em situações de alta e baixa

luminosidade e no ambiente de trabalho. A resposta para os canais RGB para cada caso está expresso na tabela 2.

Tabela 2: Resposta dos canais RGB para imagens capturadas em ambientes com diferentes níveis de iluminação

Nível de exposição solar	Canal		
	R	G	B
Alta	68	60	81
Baixa	68	61	81
Ambiente de trabalho	68	63	81
CV (%)	0.69	2.03	0.00

Fonte: Elaboração própria, 2019.

Como pode-se verificar na tabela 2, o equipamento sofreu mínimas alterações quando submetidos aos diferentes níveis de exposição solar. Este fato indica que o equipamento está bem vedado e que por consequência a fonte de iluminação do sistema advém unicamente do *flash* da câmera.

8.3. Determinação de Fe^{2+} em Sulfato Ferroso

Para determinação de Fe^{2+} em fármacos utilizando a fenantrolina como quelante e o ácido ascórbico para impedir a oxidação do ferro a Fe^{3+} buscou-se em primeiro lugar a otimização do processo reacional.

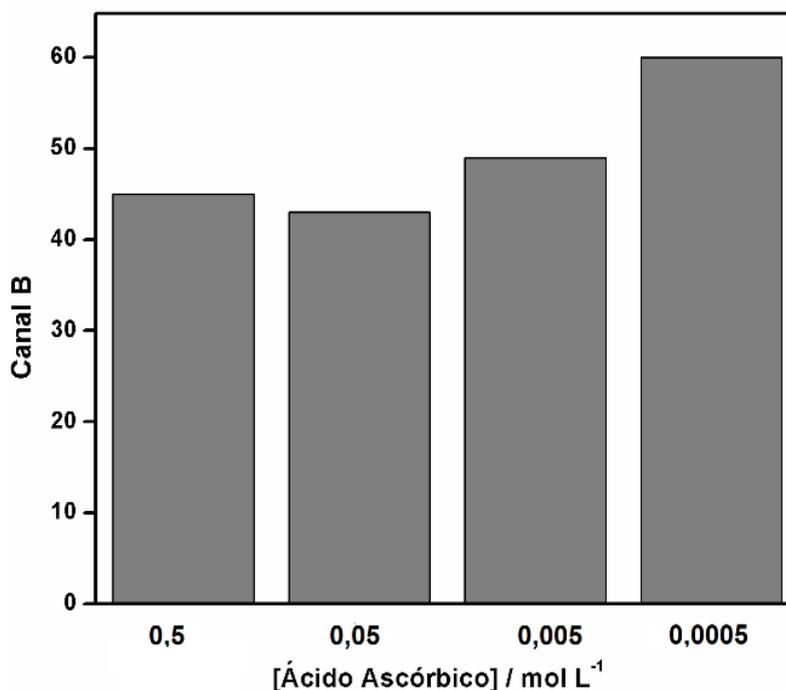
8.3.1. Otimização da reação colorimétrica

Pôde-se observar que a cor obtida após a reação do Fe^{2+} com fenantrolina é laranja. As respostas analíticas foram analisadas para os canais R, G e B,

sendo constatado uma melhor resposta no canal B, que é a cor complementar do laranja, ficando assim escolhido este canal para realização das análises.

O ácido ascórbico utilizado para evitar a oxidação do Fe^{2+} a Fe^{3+} foi testado nas seguintes concentrações: $5 \times 10^{-1} \text{ mol L}^{-1}$, $5 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$, $5 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ e $5 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$. Dentre as concentrações foi observado uma melhor resposta no canal B em $5 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$ conforme mostrado na figura 12.

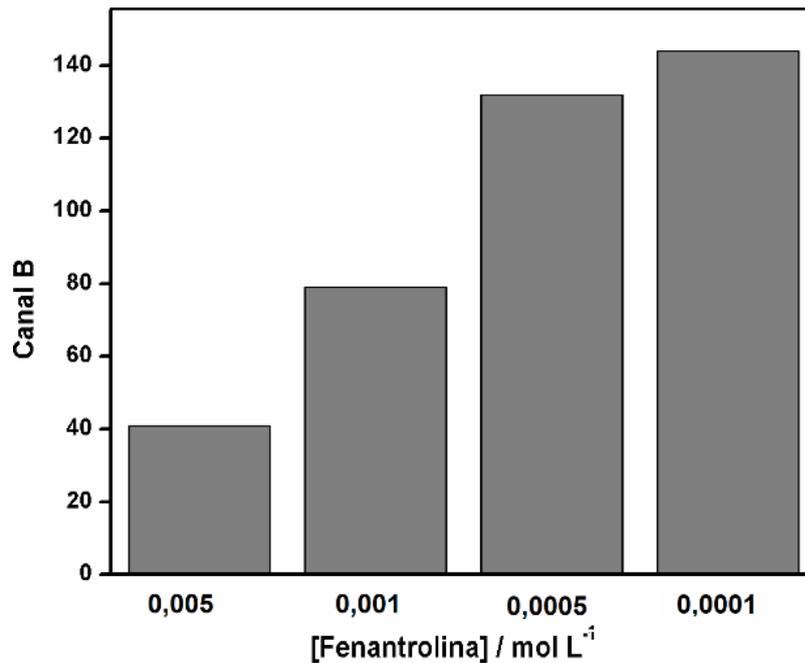
Figura 12: Gráfico da resposta analítica em função da concentração de ácido ascórbico



Fonte: Elaboração própria, 2019.

A fenantrolina utilizada como agente quelante do Fe^{2+} foi analisada nas seguintes concentrações: $5 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$, $1 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$, $5 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ e $1 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$. Dentre as concentrações foi observado uma melhor resposta no canal B em $5 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ conforme mostrado na figura 13.

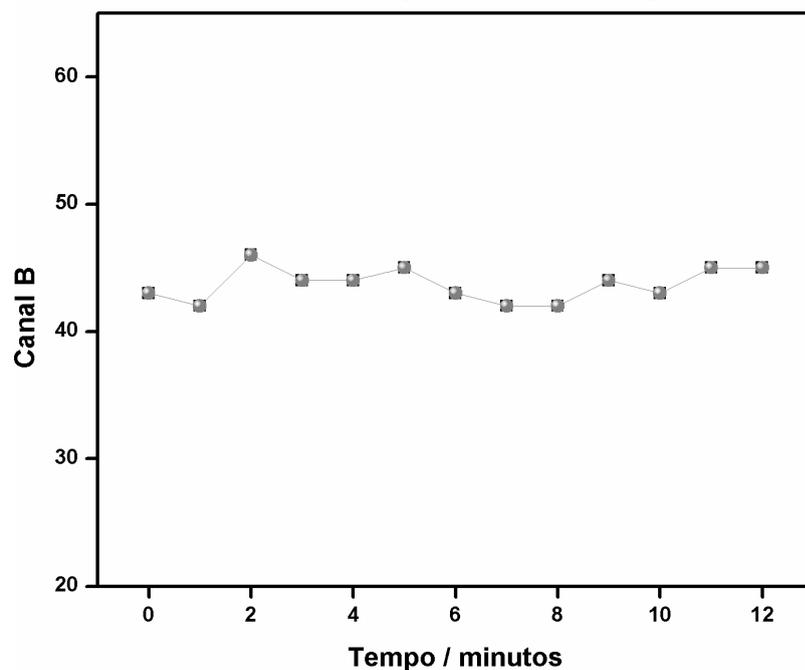
Figura 13: Gráfico da resposta analítica em função da concentração de fenantrolina



Fonte: Elaboração própria, 2019.

Os resultados obtidos para o tempo de reação demonstraram que a fenantrolina reage de forma instantânea e estável. Foi realizada a análise nos tempos de 0 a 12 minutos e não foi observado mudanças significativas no sinal analítico no decorrer do tempo como demonstrado na figura 14.

Figura 14: Gráfico da resposta analítica em função do tempo de reação



Fonte: Elaboração própria, 2019.

Desta forma, para minimizar a tempo reacional e aumentar a frequência de análises, a reação foi monitorada imediatamente após a adição do agente quelante.

8.3.2. Validação do método

8.3.2.1. Seletividade

É a capacidade que o método possui de medir exatamente um composto em presença de outros componentes tais como impurezas, produtos de degradação e componentes de matriz (ANVISA). Por se tratar de um medicamento, não foram estudados interferentes diferentes daqueles descritos no bulário do fármaco. O medicamento é constituído pelo princípio ativo (que possui ação terapêutica) mais os excipientes (veículo). Para verificar foram adicionados ácido cítrico, metilparabeno, propilparabeno, propilenoglicol, aroma de amora, sacarose e sorbitol. Todos os interferentes foram testados nas proporções de 1:1; 1:5 e 1:10 em uma solução de $\text{Fe}^{2+} 6 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ (n=3). Conforme esperado, devido à ausência de íons na amostra analítica para formar o complexo com a fenantrolina todas as determinações apresentaram um erro relativo inferior a 5% de acordo com os resultados citados na tabela 3 e portanto não devem ser considerados interferentes para a determinação de Fe^{2+} nos medicamentos. Portanto o método é seletivo para determinação de Fe^{2+} em sulfato ferroso empregando a fenantrolina como agente complexante.

Tabela 3: Efeito de possíveis interferentes na determinação de Fe²⁺ (n=3)

Interferente	Proporção Fe²⁺/Interferente	Erro relativo
Ácido cítrico	1:1	3,33
	1:5	3,64
	1:10	3,86
Metilparabeno	1:1	4,65
	1:5	4,73
	1:10	4,82
Propilparabeno	1:1	2,45
	1:5	3,77
	1:10	4,88
Propilenoglicol	1:1	3,39
	1:5	4,16
	1:10	4,46
Aroma de amora	1:1	4,18
	1:5	4,29
	1:10	4,34
Sacarose	1:1	3,63
	1:5	3,76
	1:10	3,94
Sorbitol	1:1	3,63
	1:5	4,78
	1:10	4,89

Fonte: Elaboração própria, 2019.

8.3.2.2. Linearidade

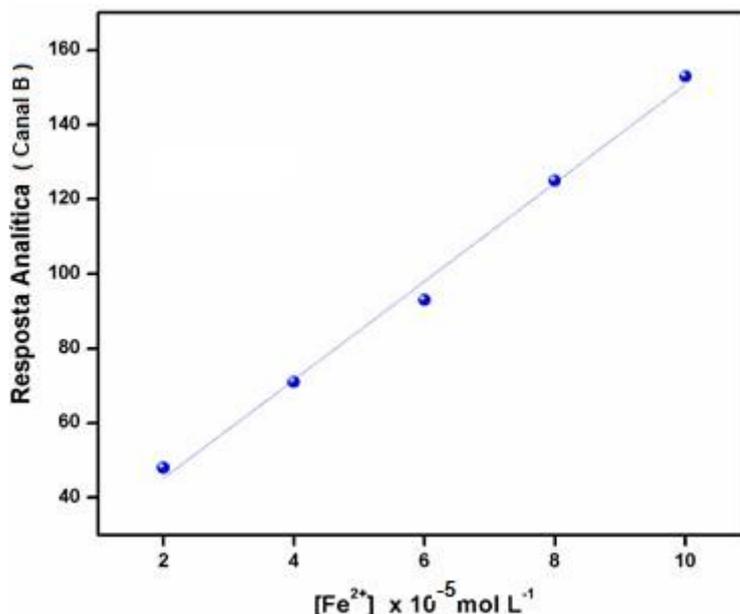
A linearidade foi obtida pela construção e análise da curva de calibração, que foi realizada pelo aplicativo de celular Photometrix, analisando concentrações das soluções de 2×10^{-5} à 1×10^{-4} mol L⁻¹.

A equação que representa as retas de regressão linear podem ser representadas da forma $y = ax + b$, onde y representa o sinal analítico e x a concentração em mol L⁻¹. O canal que apresentou melhor resposta analítica, como esperado, foi o canal B, como já supracitado (cor complementar ao laranja). Para analisar a relação entre a resposta analítica e a concentração dos padrões foi usado o coeficiente de correlação. Um coeficiente de correlação alto indica uma forte dependência das variáveis estudadas, indicando que estão correlatos. A ANVISA recomenda um $r = 0,99$ e o INMETRO um valor de $r > 0,90$.

O coeficiente angular mede uma taxa de variação de um ponto a outro, e em termos práticos, mostra a inclinação da reta. Quanto maior o coeficiente angular maior a inclinação da reta e quanto menor ele for se aproxima de uma reta horizontal. O coeficiente angular é de grande importância para avaliar a curva analítica, uma vez que um coeficiente angular alto indica uma maior sensibilidade analítica, que é desejável.

A curva de calibração mostrada na figura 15 foi ajustada pelo método dos mínimos quadrados apresentou um coeficiente de determinação (R^2) = 0,9945, indicando linearidade no intervalo de concentrações estudadas, obtendo-se a equação da reta $y = 13,2x + 18,8$.

Figura 15: Curva de calibração para determinação de Fe²⁺ em sulfato ferroso empregando o canal B



Fonte: Elaboração própria, 2019.

8.3.2.3. Limite de detecção e limite de quantificação

O limite de detecção é a menor quantidade do analito presente em uma amostra que pode ser detectado, porém não necessariamente quantificado, sob condições experimentais estabelecidas, já 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 (ANVISA,2003).

O limite de detecção (LD) e o limite de quantificação (LQ) do método de análise utilizado foram calculados a partir de parâmetros da curva analítica obtida, através das seguintes equações 2 e 3:

$$LD = \frac{(3 \times SD)}{S} \quad (2)$$

$$LQ = \frac{(10 \times SD)}{S} \quad (3)$$

Sendo que SD é a estimativa do desvio padrão da resposta analítica do branco (n=10) e S é o coeficiente angular da curva analítica.

O cálculo destes limites forneceu os valores de LD = 0,32 × 10⁻⁵ mol L⁻¹ e LQ = 1,06 × 10⁻⁵ mol L⁻¹. Como temos interesse em uma análise quantitativa,

o resultado do LQ nos mostra que a curva foi realizada numa variação de concentração adequada de 2×10^{-5} a 1×10^{-4} mol L⁻¹.

8.3.2.4. Precisão

A precisão é a avaliação da proximidade dos resultados obtidos em uma série de medidas de uma amostragem múltipla de uma mesma amostra (ANVISA). O coeficiente de variação (CV, usualmente expresso em%), também conhecido como desvio padrão relativo (DPR), é calculado pela equação 4:

$$CV = DPR = (DP / CMD) \times 100 \quad (4)$$

Sendo:

DP: é o desvio padrão;

CMD: é a concentração média determinada.

Para avaliar a precisão foi efetuado nove determinações de uma mesma amostra conforme indicado na tabela 4.

Tabela 4: Estimativa de precisão

Amostra	Volume Fe ²⁺ (µL)	Volume Água (µL)	Volume Ácido Ascórbico (µL)	Volume Fenantrolína (µL)	RGB
1	42	258	200	200	251/221/150
2	42	258	200	200	253/227/167
3	42	258	200	200	251/223/156
4	42	258	200	200	254/227/163
5	42	258	200	200	254/229/158
6	42	258	200	200	254/225/161
7	42	258	200	200	252/223/155
8	42	258	200	200	253/226/161
9	42	258	200	200	253/226/162

Fonte: Elaboração própria, 2019.

Diante dos resultados foi determinado a média do sinal analítico no canal B (CMD) 159,22 e o desvio padrão (DP) 5,04 obtendo desvio padrão relativo (DRP) ou coeficiente de variação (CV%) 3,16. O valor determinado está dentro do padrão estabelecido pela ANVISA que dependendo da metodologia aplicada não se admite valores superiores a 5%.

8.3.2.5. Veracidade – Recuperação

A recuperação pode ser estimada pela análise de amostras fortificadas com quantidades conhecidas do mesmo (INMETRO,2008). Para verificar a veracidade do método foram feitos ensaios de recuperação. Estes estudos são importantes para verificar a existência de efeitos de matriz nas amostras dos medicamentos. Três amostras de sulfato ferroso de diferentes fabricantes foram submetidas à reação e análise no smartphone. Em seguida foi adicionado a essas amostras concentrações de 4×10^{-5} e 8×10^{-5} mol L⁻¹ de padrão de Fe²⁺ em cada uma das amostras submetendo a mesmas à reação e análise. Com os resultados obtidos verificou-se o valor recuperado a partir do valor adicionado. A recuperação percentual foi calculada através da equação 5:

$$\text{Recuperação \%} = \frac{C1 - C2}{C3} * 100 \quad (5)$$

Sendo:

C1 - concentração analisada na amostra + padrão;

C2 - concentração analisada na amostra;

C3 - concentração adicionada (padrão).

A tabela 5 mostra os resultados obtidos para o estudo de recuperação para determinação de Fe²⁺ empregando fenantrolina como agente complexante.

Tabela 5: Porcentagens de recuperação de Fe²⁺ obtidas para os dois níveis de concentração estudados

AMOSTRA	ADICIONADO ^c	RECUPERADO ^c	RECUPERAÇÃO (%)
A	6	5,88	98
	10	10	100
B	6	5,88	98
	10	9,90	99
C	6	5,90	98
	10	9,95	99,6

^c Concentração expressa em $\times 10^{-5}$ mol L⁻¹

Fonte: Elaboração própria, 2019.

É importante que os laboratórios estabeleçam critérios de aceitação para recuperação, de preferência seguindo as orientações normativas da legislação aplicável às áreas de atividades, como por exemplo, meio ambiente. Normalmente os critérios estão atrelados ao nível de concentração (INMETRO, 2008). Na Tabela 6, são apresentados os critérios sugeridos pela AOAC.

Tabela 6: Exemplo de critério de aceitação para recuperação

Analito, %	Razão do analito	Unidade	Recuperação média, %
100	1	100%	98 –102
10	10 ⁻¹	10%	98 –102
1	10 ⁻²	1%	97 –103
0,01	10 ⁻³	0,1%	95 –105
0,001	10 ⁻⁴	100ppm	90 –107
0,0001	10 ⁻⁵	10ppm	80 –110
0,00001	10 ⁻⁶	1ppm	80 –110
0,000001	10 ⁻⁷	100ppb	80 –110
0,0000001	10 ⁻⁸	10ppb	60 –115
0,00000001	10 ⁻⁹	1ppb	40 –120

Fonte: AOAC, 2012

Os resultados de recuperação foram comparados com os valores descritos pela AOAC, cuja recomendação é que o intervalo de recuperação esteja entre 80 e 110%, para razão do analito na ordem de 10^{-5} . Portanto todos os valores obtidos para a recuperação de Fe^{2+} foram satisfatórios. Pode-se afirmar, portanto, que não foram encontrados efeitos de matriz na amostra analisada.

8.3.3. Análise das Amostras reais de Fe^{2+} em Sulfato Ferroso

Após a otimização da análise das imagens, otimização de parâmetros operacionais do sistema, otimização da reação colorimétrica e validação do método pelos parâmetros seletividade, linearidade, limite de detecção, limite de quantificação, precisão e veracidade (recuperação) o método proposto foi aplicado na quantificação de Fe^{2+} em três amostras de fármacos sulfato ferroso adquiridos em drogarias da cidade de viçosa (MG).

As amostras foram analisadas em replicata (n=5) empregando o método proposto e também o método espectrofotométrico como método de referência. Os resultados obtidos das amostras A, B e C estão dispostos na tabela 7:

Tabela 7: Determinação de Fe^{2+} em sulfato ferroso empregando o método proposto e um método de referência

Amostra	Método Comparativo ^a	Método Proposto ^a	Erro Relativo (%)
A	40,73 ± 1,3	38,8 ± 0,8	-4,73
B	40,5 ± 0,8	40,13 ± 0,7	-0,96
C	39,70 ± 0,9	40,22 ± 0,8	+1,3

^a Concentração expressa em mgL^{-1} ; Média ± desvio padrão

Fonte: Elaboração própria, 2019.

Como pode ser observado, os resultados obtidos por ambos métodos estão relativamente próximos com erros relativos variando de -4,73 à 1,3 %. Os resultados obtidos estão próximos da concentração informada pelo fabricante. Para comparar os resultados obtidos pelo método proposto e pelo método espectrofotométrico foi empregado o teste *t* pareado à 95 % de confiança. O teste indicou que o valor de $t_{calculado}$ foi menor que o de $t_{critico}$, ($0,84 < 4,3$) e portanto, pode-se afirmar que não existem diferenças estatisticamente

significativas na determinação de Fe^{2+} nos fármacos empregando os dois métodos.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante de todo estudo e minha vivência como professor de escola pública e particular, percebo a carência da experimentação no estudo da química no ensino médio do Brasil. Como se trata de uma ciência experimental, a sua compreensão de forma significativa deve sim passar pela experimentação de forma contextualizada. Não podemos deixar de enfatizar a importância das TIMS como facilitadores no processo de ensino e aprendizagem, demonstrando aos nossos alunos que o celular pode ser usado para fins didáticos e não apenas para jogos e redes sociais.

A partir dos fatos foi estabelecido a problematização da pesquisa: Será possível desenvolver um equipamento de baixo custo e fácil aquisição e utilizar um aplicativo de celular (aparelho de uso popular) para realizarmos análises colorimétricas no ensino médio?

Posteriormente a essa pergunta começamos o nosso trabalho para que fosse atingido o nosso principal objetivo geral: Construir um equipamento simples e de baixo custo a partir da caixa do próprio celular para aquisição das imagens, para ser utilizado em aulas experimentais investigativas e contextualizadas com um celular como recurso pedagógico. E assim foi desenvolvido um método analítico baseado na análise de imagens digitais para determinação de Fe^{2+} em sulfato ferroso, medicamento de primeira linha no tratamento de anemia ferropriva. O método consiste na decomposição da imagem por meio do aplicativo PhotoMetrix de um smartphone, que foi usado como instrumento analítico. A reação química foi baseada na formação de um quelato alaranjado entre o metal e a fenantrolina, cuja intensidade de cor é proporcional à concentração de Fe^{2+} . Durante o processo foi realizado a otimização da análise das imagens, otimização de parâmetros operacionais do sistema, otimização da reação colorimétrica e validação do método pelos parâmetros seletividade, linearidade, limite de detecção, limite de quantificação, precisão e veracidade (recuperação). O método proposto foi aplicado na

quantificação de Fe^{2+} em três amostras de fármacos sulfato ferroso adquiridos em drogarias da cidade de viçosa empregando também o método espectrofotométrico como método de referência. Foram realizados cálculos estatísticos e não foi observado diferenças significativas entre os métodos.

Devemos ressaltar que através desse trabalho não podemos garantir a real efetividade na aprendizagem. Estamos com ele propondo uma aula experimental contextualizada com o uso do smartphone visto que o método estudado é eficaz, de baixo custo, gasta pouco regente gerando poucos resíduos além de não necessitar de profissional capacitado, o que facilita sua aplicação na educação básica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALÇIÇEK, Z.; BALABAN, M. Ö. Characterization of Green Lipped Mussel Meat. Part II: Changes in Physical Characteristics as a Result of Brining and Liquid Smoke Application. **Journal of Aquatic Food Product Technology** v. 24, p. 15–30 , 2015.
- ALMEIDA, V. V.; CANESIN, E. A.; SUZUKI, R. M.; PALIOTO, G. F. Análise qualitativa de proteínas em alimentos por meio de reação de complexação do íon cúprico. **Química Nova na Escola**, v. 35, n. 1, p. 34-40, 2013.
- ANDRADE, S. I. E. ; LIMA, M. B.; BARRETO, I. S.; LYRA, W. S.; ALMEIDA, L. F.; ARAÚJO, M. C. U.; SILVA, E. C.. A digital image-based flow-batch analyzer for determining Al(III) and Cr(VI) in water. **Microchemical Journal** v. 109, p. 106–111, 2013.
- ARISTÓTELES. **Metafísica**. São Paulo: Editora Abril. Livro A, cap. I. (Coleção Os Pensadores) Orig. do século IV a.C. 1979.
- BATISTA FILHO, M.; FERREIRA, L. O. C. Prevenção e tratamento da anemia nutricional ferropriva: novos enfoques e perspectivas. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 12, n. 3, p. 37-41, 1996.
- BEUTLER, E. History of iron in medicine. **Blood Cells, Molecules, and Diseases**, v. 29, n. 3, p. 297-308, 2002.
- BOX, G; DRAPER, N. **Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics: Applied Probability and Statistics**. John Wiley & Sons Inc, 669 p.. 1987.
- BRAATHEN, P. C. **Instrumentação para o Ensino de Química: é fazendo que se aprende**. Viçosa/MG: Edições CRQ-MG, 2016. 112 p.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. Parâmetros Curriculares Nacionais + (PCN+) – Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Brasília: MEC, 2002.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio. Brasília: MEC/SEMTEC, 4v. 1999.
- _____. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. Programa Nacional de Suplementação de Ferro: manual de condutas gerais / Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. Brasília: Ministério da Saúde, 2013. 24 p.: il.
- BRUTON, L.L.; LAZO, J.S.; PARKER, K.L. **Goodman & Gilman. As Bases Farmacológicas da Terapêutica**. Rio de Janeiro:McGraw-Hill, 2007.
- CACHAPUZ, A.; PRAIA, J.; JORGE, M. 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.

CAMPOS, A. R.; KNUTSON, C. M.; KNUTSON, T. R.; MOZZOETTI, A. R.; HAYNES, C. L.; PENN, R.L. Quantifying gold nanoparticle concentration in a dietary supplement using smartphone colorimetry and google applications. **Journal of Chemical Education**, v. 93, n. 2, p. 318-321, 2015.

CARDOSO, D. R.; DAMASCENO, D.; TOLEDO, T. G.; GODINHO, M. S.; DA SILVA, C. P.; DE OLIVEIRA, S. B. A Análise multivariada de imagens na química: um experimento para determinação do pH de águas potáveis. **Quim. Nova** v. 38, n. 6, p. 836–841 , 2015.

CHOODUM, A.; PARABUN, K.; KLAWACH, N.; DAEID, N. N.; KANATHARANA, P.; WONGNIRAMAİKUL, W. Real time quantitative colourimetric test for methamphetamine detection using digital and mobile phone technology. **Forensic Science International** v. 235, p. 8–13 , 2014.

CHOODUM, A.; KANATHARANA, P.; WONGNIRAMAİKUL, W. DAEID, N. N. Using the iPhone as a device for a rapid quantitative analysis of trinitrotoluene in soil. **Talanta**, v. 115, p. 143-149, 2013.

CRUZ-FERNÁNDEZ, M.; LUQUE-COBIJA, M. J.; CERVERA, M. L.; MORALES-RUBIO, A.; GUARDIA, M. Smartphone determination of fat in cured meat products. **Microchemical Journal** v. 132, p. 8–14 , 2017.

DELIZOICOV D. Conhecimento, tensões e transições. São Paulo: Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo. (Tese de Doutorado). 1991.

FERREIRA, L. H.; HARTWIG, D. R.; OLIVEIRA, RC de. Ensino experimental de química: uma abordagem investigativa contextualizada. **Química Nova na Escola**, v. 32, n. 2, p. 101-106, 2010.

FILATRO, A.; CAVALCANTI, C.C. **Metodologias inov-ativas na educação presencial, a distância e corporativa**. São Paulo: Saraiva Educação, 272 p. 2018.

FRANCISCO JR, W. E.; FERREIRA, L. H.; HARTWIG, D.R. Experimentação problematizadora: fundamentos teóricos e práticos para a aplicação em salas de aula de ciências. **Química Nova na Escola**, v. 30, n. 4, p. 34-41, 2008.

GALIAZZI, M. C.; ROCHA, J. M. B.; SCHMITZ; L. C.; SOUZA, M. L.; GIESTA, S.; GONÇALVES, F.P. Objetivos das atividades experimentais no ensino médio: a pesquisa coletiva como modo de formação de professores de ciências. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 7, n. 2, p. 249-263, 2001.

GIORDAN M. O papel da experimentação no ensino de Ciências. In: Enc. Nac. Pesq. Educ. Ciências, 2, Valinhos. Anais, Assoc. Bras. **Pesq. Educ. Ciências**, v. 2, p. 43-49. 1991.

GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de ciências. **Química Nova na Escola** v. 10 , 1999.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Digital Image Processing**, 954 p. 2008.

GUIMARÃES, C.C. Experimentação no Ensino de Química: Caminhos e Descaminhos Rumo a Aprendizagem Significativa. **Química Nova Na Escola**.v.31, 2009.

HARGREAVES, A. **O Ensino na Sociedade do conhecimento: a educação na era da insegurança**. Porto: Porto Editora, 2003.

KEHOE, E.; PENN, R. L. Introducing Colorimetric Analysis with Camera Phones and Digital Cameras: An Activity for High School or General Chemistry. **Journal of Chemical Education** v. 90, n. 9, p. 1191–1195 , 10 set. 2013.

KOESDJOJO, M. T.; PENG PUMKIAT, S.; WU, Y.; BOONLOED, A., HUYNH, D.; REMCHO, T. P.; REMCHO, V. T. Cost effective paper-based colorimetric microfluidic devices and mobile phone camera readers for the classroom. **Journal of Chemical Education**, v. 92, n. 4, p. 737-741, 2015.

KUCHERYAVSKIY, S.; MELENTEVA, A.; BOGOMOLOV, A. Determination of fat and total protein content in milk using conventional digital imaging. **Talanta** v. 121, p. 144–152 , 2014.

LABURÚ, C. E.; ARRUDA, S. M.; NARDI, R. Pluralismo metodológico no ensino de ciências. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 9, n. 2, p. 247-260, 2003.

LIMA, M.E.C.C.; MUNFORD, D. Ensinar ciências por investigação: em que estamos de acordo? **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**. Minas Gerais, 2007.

LIMA-NETO, B. S; FRANCO, D. W. Influência do material do destilador na composição química das aguardentes de cana. **Quim. Nova** v. 26, n. 2, p. 165–169 , 2003.

LOPEZ-MOLINERO, A.; LIÑAN, D.; SIPIERA, D.; FALCON, R. Chemometric interpretation of digital image colorimetry. Application for titanium determination in plastics. **Microchemical Journal** v. 96, n. 2, p. 380–385 , 2010.

LUIZ, V. H. M.; PEZZA, L.; PEZZA, H. R.. Rapid determination of furosemide by combined spot test/diffuse reflectance spectroscopy to detect doping in sport. **Microchemical Journal** v. 109, p. 68–72 , jul. 2013.

MATHAWEESANSURN, A.; MANEERAT, N.; CHOENGCHAN, N. A mobile phone-based analyzer for quantitative determination of urinary albumin using self-calibration approach. **Sensors and Actuators B: Chemical** v. 242, p. 476–483 , 2017.

MONTANGERO, M. Determining the Amount of Copper(II) Ions in a Solution Using a Smartphone. **Journal of Chemical Education** v. 92, n. 10, p. 1759–1762 , 13 out. 2015.

MORAES, E. P.; CONFESSOR, M. R.; GASPAROTTO, LUIZ H. S. Integrating Mobile Phones into Science Teaching To Help Students Develop a Procedure To Evaluate the Corrosion Rate of Iron in Simulated Seawater. **Journal of Chemical Education** v. 92, n. 10, p. 1696–1699 , 13 out. 2015.

MUNFORD, D.; LIMA, M. E. C.C. Ensinar ciências por investigação: em que estamos de acordo?. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 9, n. 1, p. 89-111, 2007.

OLIVEIRA, N.; SOARES, M. H. F. B. As atividades de experimentação investigativa em ciência na sala de aula de escolas de ensino médio e suas interações com o lúdico. **XV Encontro Nacional de Ensino de Química (XV ENEQ)**, p. 1-12, 2010.

PACIORNIK, S.; YALLOUZ, A. V.; CAMPOS, R. C.; GANNERMAN, D. Scanner image analysis in the quantification of mercury using spot-tests. **Journal of the Brazilian Chemical Society** v. 17, n. 1, p. 156–161 , 2006.

RIBEIRO, A.; RANZ, J.; BURGOS-ARTIZZU, X. P.; PAJARES, G.; SANCHEZ, M. J.; ARCO, D.; NAVARRETE, L. An Image Segmentation Based on a Genetic Algorithm for Determining Soil Coverage by Crop Residues. **Sensors** v. 11, p. 6480–6492 , 2011.

RICARDO. E. C. **Competências Interdisciplinaridade e contextualização: dos Parâmetros Curriculares Nacionais a uma compreensão para o Ensino de Ciências**. Tese (doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Centro de Ciências da Educação, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2005.

ROSITO, B.A. Construtivismo e ensino de Ciências: reflexões epistemológicas e metodológicas. In: Moraes R. **O ensino de ciências e a experimentação**. Porto Alegre: EDIPUCRS. p. 195-230. 3 ed. 2000.

SALAZAR, R.F.S., CARROCCI, J. S.; ANDRADE, T. K.; MARCIEL, R. F.; BRANDÃO, J. J.; GUIMARÃES, C.; IZÁRIO FILHO; H. J. Validação do Método Fenantrolina para Determinação de Íon Ferroso em Efluente Lácteo. In **Encontro Latino Americano de Pós-Graduação (VIII EPG)** [online], 8, São José dos Campos, 2008.

SANTOS, W.L. P.; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 2, n. 2, p. 110-132, 2000.

SANTOS, R. V. Abordagens do processo de ensino e aprendizagem. **Integração**, n. 40, p.19-31, 2005.

SILVA, E. L. **Contextualização no Ensino de Química: idéias e proposições de um grupo de professores**. **Dissertação** (Mestrado em Ensino de Ciências) – Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências e Faculdade de Educação – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007

SIMA, I. A.; CASONI, D.; SÂRBU, C. High sensitive and selective HPTLC method assisted by digital image processing for simultaneous determination of catecholamines and related drugs. **Talanta** v. 114, p. 117–123 , 2013.

SOUZA, F. R.; DUARTE J. G. F.; GARCIA, P. de T.; COLTRO, W. K. T Evaluation of digital image capture devices for colorimetric detection on printed microzones. **Química Nova** v. 37, n. 7, p. 1171–1176 , 2014.

SUMRIDDETKAJORN, S.; CHAITAVON, K.; INTARAVANNE, Y. Mobile-platform based colorimeter for monitoring chlorine concentration in water. **Sensors and Actuators B: Chemical** v. 191, p. 561–566 , 2014.

TANG, Z.; YANG, J.; YU, J.; CUI, B. A Colorimetric Sensor for Qualitative Discrimination and Quantitative Detection of Volatile Amines. **Sensors** v. 10, p. 6463–6476 , 2010. TILLEY, R. J. D. **Colour and the Optical Properties of Materials – An Exploration of the Relationship Between Light, the Optical Properties of Materials and Colour**. 2. ed. Wes Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd, 2011. .

KENSKI, V.M. Educação e Tecnologias: o novo ritmo da informação. 8ª. **Campinas/SP: Editora Papirus**, 2007.

YAM, K.L.; PAPADAKIS, S.E. A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. **Journal of Food Engineering** v. 61, n. 1, p. 137–142 , 2004.

ZERAIK, A.E.; SOUZA, F. S.; FATIBELLO-FILHO, O.; LEITE, O. D. Desenvolvimento de um Spot Test para o Monitoramento da Atividade da Peroxidase em um Procedimento de Purificação. **Quim. Nova** v. 31, n. 4, p. 731–734, 2008.

APÊNDICES

APÊNDICE I. PROPOSTA DE UMA AULA PRÁTICA CONTEXTUALIZADA:

Título: Determinação colorimétrica de Fe²⁺ em fármacos empregando um smartphone como instrumento analítico

A aula prática foi elaborada de forma que o professor possa realizar em três aulas visto que o número de aulas de química no ensino médio é de no máximo duas aulas semanais. O roteiro foi feito de forma que a aula tenha um caráter experimental investigativo, mas nada impedi de ser trabalhado de forma ilustrativa o que levará a uma diminuição no número de aulas a ser utilizado. O mais importante é que se estabeleça em algum momento uma discussão dos resultados alcançados.

I- Objetivos

- Instalar o aplicativo photometrix usando o play store
- Otimizar o aparato caixa-smartphone para realização das análises
- Determinar o teor de Fe²⁺no fármaco sulfato ferroso

II-Materiais que devem ser utilizados:

- Quadro
- Smartphone
- Livros e outras fontes de pesquisa

III-Metodologia

Primeiro Momento (realizado como dever de casa)

A turma deverá ser dividida em grupos de no máximo cinco alunos. As seguintes tarefas serão determinadas pelo professor:

- O professor poderá oferecer aos alunos uma fonte para pesquisa que trate da questão da anemia como um problema de saúde pública no mundo onde o mesmo vai se ater a índices de hemoglobina que levam a anemia, alimentos ricos em ferro, tratamento de escolha, prevalência no Brasil e no mundo.
- Os alunos deveram trazer de casa uma caixa de celular e o celular com o aplicativo photometrix instalado, explicando para os mesmos que a aula será realizada com o uso do aplicativo de celular que é instalado de forma gratuita pelo play store.
- Os alunos deveram pesquisar quanto ao uso do aplicativo photometrix na internet através de vídeos do youtube.

Segundo momento (Sala de aula)

- Neste momento os alunos deveram montar em sala de aula o aparato caixa-smartphone procurando uma melhor posição para o celular para obter as imagens e devem fazer um teste utilizando um corante qualquer em diferentes concentrações somente para testar o equipamento.

Terceiro momento (Sala de aula)

- Nesta etapa será realizada a curva analítica e a análise da amostra. As soluções padrão e amostra devem estar todas preparadas conforme descrito no roteiro experimental.
- As equipes deveram realizar dois exercícios elaborados de acordo com o tema da aula prática como tarefa para casa.

Quarto momento (Sala de aula)

- Os resultados alcançados durante a aula prática e os exercícios realizado em casa deverão ser discutidos entre os grupos de alunos e o professor.

Sugestão para leitura

Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. Programa Nacional de Suplementação de Ferro: manual de condutas gerais / Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. Brasília: Ministério da Saúde, 2013. 24 p.: il.

IV-Roteiro experimental

ESCOLA:		
ROTEIRO DE AULA PRÁTICA		
DISCIPLINA:	ETAPA/BIMESTRE:	DATA:
ENSINO MÉDIO		
PROFESSOR(A):		
ALUNO(A):	NÚMERO:	TURMA:

1-TÍTULO:

Proposta de uma aula prática contextualizada: determinação colorimétrica de Fe^{2+} em fármacos empregando um smartphone como instrumento analítico

2-INTRODUÇÃO:

A anemia é um dos principais problemas de saúde pública mundial, estima-se que mais de 25% da população mundial apresenta esta carência nutricional, diante desse quadro a proposta dessa aula consisti no desenvolvimento de uma aula prática contextualizada para alunos de ensino médio baseada na determinação de Fe^{2+} em fármacos cujo princípio ativo é o sulfato ferroso, empregando um smartphone como instrumento de análise.

3-MATERIAIS:

Pipeta automática de 20 μ L ,100 μ L e 1000 μ L.

Ponteiras para pipetas.
Tampas plásticas de vidraria.
Caixa de Smartphone.
Smartphone com o aplicativo PhotoMetrix baixado.

4-REAGENTES:

Solução de Fe^{2+} $1 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$

Água

Ácido Ascórbico $5 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$

Fenantrolina $5 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$

5-PROCEDIMENTO:

ETAPA I: Montagem da Curva Analítica

I- Colocar o smartphone na parte superior da caixa de aquisição de imagens, de tal forma que a saída da câmera e do flash não estejam tampados, portanto a caixa deve ter um orifício. Em seguida deve-se inserir a tampa plástica, em boas condições de uso, dentro do equipamento e verificar a melhor posição.

II- Ao abrir o aplicativo PhotoMetrix, o usuário deve selecionar a opção “Univariate Analysis”, em seguida deve clicar em vector RGB e logo após “Calibration” para prosseguir com o processo de calibração. A seguir deve-se indicar o local e escolher o número de amostras (pontos na curva analítica) que serão utilizados na curva de calibração. Recomenda-se deixar este valor igual a 5, como sugerido pelo próprio programa e em seguida seguir para “Capture images”. Em seguida, deve-se proceder com a construção da curva diretamente nas tampas plásticas, iniciando com a captura de imagens em ordem crescente de concentração de Fe^{2+} , como indicadas na tabela 1.

Tabela 1: Volumes de cada solução que devem ser empregados para construção da curva analítica.

[Fe ²⁺] mol L ⁻¹	0,0001	0,00008	0,00006	0,00004	0,00002
Soluções	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
Volume Fe ²⁺ μL	70	56	42	28	14
Volume H ₂ O μL	230	244	258	272	286
Volume Ác. Ascórbico μL	200	200	200	200	200
Volume Fenantrolina μL	200	200	200	200	200
Resultados (RGB)					

Após todos os reagentes serem misturados nas tampas plásticas, as mesmas devem ser introduzidas uma a uma na caixa para captura da imagem. Após a captura da imagem a primeira tampa deve ser retirada do equipamento e a solução descartada em local adequado, seguindo assim o mesmo procedimento para as próximas quatro soluções. Após capturar todas as cinco imagens no processo de calibração, o programa exibirá os modelos de calibração obtidos para todos os canais decompostos pelo software. Se ao final do processo de calibração um dos canais apresentados pelo programa apresentar um coeficiente de regressão $r > 0,99$ poderá seguir para próxima etapa, caso contrário todo procedimento da primeira etapa deve ser repetido.

ETAPA II: Análise da Amostra

Nessa etapa substituímos as soluções de Fe²⁺ 10⁻³ mol/L por uma amostra do medicamento a ser analisado. A concentração do medicamento deve ser convertida a 10⁻³ mol/L de Fe²⁺ e analisada em C₂ (Ponto central). O resultado obtido deve ser próximo do resultado da curva analítica para que o medicamento esteja na concentração indicada pelo fabricante.

6-RESULTADOS E DISCUSSÃO:

8-CONCLUSÃO:

9-QUESTÕES:

01.A anemia por deficiência de ferro é uma doença causada pela baixa concentração de hemoglobina no sangue que é responsável pelo transporte

de oxigênio para células. Seus índices de referência variam com a idade e sexo. Ela ocupa uma posição relevante dentro dos problemas de saúde pública no Brasil chegando a atingir 25% da população mundial. Esse índice ainda é aumentado em crianças e mulheres. Existe relatos de tratamento colocando prego em limão utilizando a fruta para fazer suco no dia seguinte. A primeira linha de tratamento é o sulfato ferroso via oral devido a eficácia e baixo custo, salvo em casos de intolerância. Os sintomas usuais incluem fraqueza, cefaleia, irritabilidade, síndrome das pernas inquietas e vários graus de fadiga e intolerância aos exercícios ou pica (apetite pervertido por barro ou terra, papéis, amido).

CASO CLÍNICO:

Uma criança de 6 anos com peso 17Kg compareceu ao pronto atendimento da cidade de Santana do Manhuaçu, onde foi atendido pelo médico de plantão o médico suspeitou de anemia diante da clínica do paciente e pediu um hemograma completo para fechar seu diagnóstico com o exame laboratorial. Feito o exame foi confirmado a anemia por deficiência de ferro na criança com índice de hemoglobina 9g/dL (Valores normais de hemoglobina em crianças de 6 a 12 anos: 11,5 a 15,5 g/dL). Qual a dose mínima (em mL) por dia que o médico deve prescrever para o tratamento da criança?(**Responda tendo como referência o peso da criança, a concentração do medicamento e a dose mínima recomendada**).



Dose recomendada de Sulfato ferroso: Crianças: 3 - 6 mg/kg/dia de ferro elementar, até o limite de 60 mg/dia, VO.

02. A luz ao incidir em um objeto uma parte das ondas eletromagnéticas são absorvidas outra é emitida. As cores que observamos são representadas pela parte refletida, a parte absorvida é a cor complementar. No experimento realizado na aula prática observamos uma reação entre o Fe^{2+} e a fenantrolina formando um complexo de cor alaranjada. Diante das informações no enunciado e das figuras. Responda às seguintes questões:

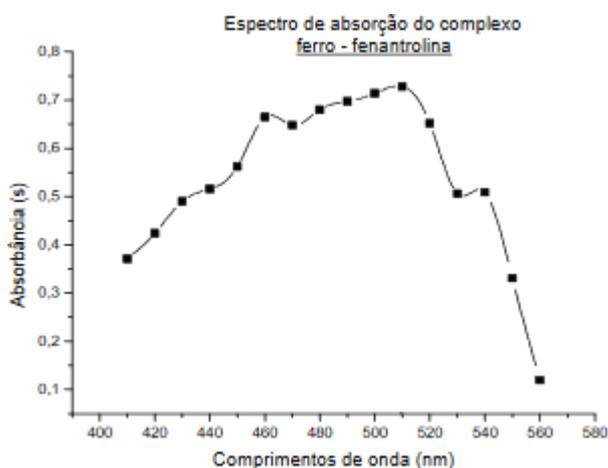
- Qual a cor complementar daquela observada no experimento?
- Determine o maior valor de absorção para o complexo formado utilizando a figura 2.

Figura 1: Disco de cores, com as cores complementares e intervalos de comprimento de onda



ALMEIDA *et al.* (2013)

Figura 2: Espectro de absorção do complexo ferro-fenantrolina



ALMEIDA *et al.*