

## Plano Orientador “Grupos Cromóforos e sua Relação com a Cor”: Produto Educacional para uma Abordagem Experimental Investigativa da Química Orgânica no Ensino Médio

### *Guiding Plan “Chromophore Groups and their Relationship with Color”: Educational Product for an Experimental Investigative Approach to Organic Chemistry in High School*

Darléia Alessandra Posser Barboza,<sup>a,b,c</sup> Aloir Antonio Merlo,<sup>a</sup> Maurícius Selvero Pazinato<sup>a,\*</sup> 

<sup>a</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Química, Avenida Bento Gonçalves, 9500, Bairro Agronomia, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

<sup>b</sup>Colégio Estadual Doutor Dorvalino Luciano de Souza, Cerro Grande, Rio Grande do Sul.

<sup>c</sup>Escola Estadual Ângelo Beltramin, Pinhal, Rio Grande do Sul.

Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI)

\*E-mail: [mauricius.pazinato@ufrgs.br](mailto:mauricius.pazinato@ufrgs.br)

**Recebido:** 28 de Março de 2021

**Aceito:** 28 de Março de 2021

**Publicado online:** 24 de Maio de 2021

This work presents a Guiding Plan for the development of an investigative experimental activity towards to at the study of Organic Chemistry concepts in high school. The Guiding Plan “Chromophore groups and their relationship with color” is part of the educational product developed in the context of the PROFQUI of UFRGS. Through this plan it is possible to address the structural characteristics of some dyes, such as organic functions and chemical structures, electronic density, and polarity of molecules; intermolecular forces; physical properties; method of separating substances in a mixture (Paper and Column chromatography). In this article, we present the theoretical frameworks for the elaboration of investigative experiments with the purpose of developing higher order cognitive skills, such as selecting and evaluating information for problem solving, in addition to generalizing the topics studied in other contexts. The experiment presented in this work is classified according to the level of cognitive requirement required by the questions proposed to students as level 3. Regarding to the required participation of students to perform the experiment (the degree of freedom), it is classified in category V. Finally, a proposal is presented for the development of the stages of the Guiding Plan considering the reality of Chemistry in high school. We aim for students to understand the interferences of chemical structures and physical properties of pigments in interactions with the adsorbent and that they systematize the information obtained to solve the problem situation.

**Keywords:** Inquiry experiment; dyes; cognitive skills; chemistry teaching

## 1. Introdução

As aulas de Química no Ensino Médio vêm sendo desenvolvidas de maneira predominantemente teórica. As atividades experimentais são pouco frequentes e quando realizadas, muitas vezes, reforçam visões equivocadas sobre a natureza da Ciência, que é caracterizada como neutra, objetiva e empirista.<sup>1</sup> Além disso, referente às aulas de Química Orgânica, algumas pesquisas<sup>2,3</sup> relatam que elas se resumem em classificar e dar nomes a compostos orgânicos na maior parte do ano letivo, com pouco ou nenhum momento de reflexão e contextualização dos conteúdos considerados de maior relevância para a construção do saber científico.

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) aponta que uma pequena parcela dos brasileiros aplica os conhecimentos científicos na resolução de problemas do cotidiano, o que indica a necessidade do letramento científico da população. O documento destaca que aprender Ciência é ir além dos conteúdos conceituais,<sup>4</sup> considerando uma abordagem que leve o estudante a construir aprendizados e solucionar problemas, o que pode tornar a aprendizagem interessante e com utilidade na vida das pessoas.<sup>5,6</sup>

Assim, considera-se que aprender Ciência está muito além de conceitos sem significação e relação com o contexto social ou tecnológico onde o estudante está inserido. O aprendizado ocorre mediante a participação ativa do aluno em atividades que promovem o desenvolvimento de habilidades cognitivas mais elevadas, tais como: levantar hipóteses, formular questões, resolver problemas, tomar decisões e desenvolver o pensamento crítico.<sup>7-11</sup>

As atividades experimentais no Ensino Médio, se bem elaboradas, surgem como um instrumento capaz de favorecer o processo de ensino e a abordagem de conceitos químicos de maneira dinâmica e significativa para os estudantes. Porém, é preciso que o professor reflita sobre o papel didático da experimentação e de que maneira ela contribui para a aprendizagem da Química.<sup>12</sup> Isso pode ser favorecido por intermédio de uma abordagem investigativa.

Nessa perspectiva, o estudante é desafiado a mobilizar o seu conhecimento prévio e formular uma estratégia pessoal ou em pequenos grupos, para resolver problemas cotidianos utilizando a cultura científica. Em específico, na presente pesquisa, acredita-se que isso poderá favorecer a aprendizagem de Química Orgânica, caso os experimentos estejam relacionados e aplicáveis em sua vida.

Esse trabalho é parte de uma pesquisa que está sendo desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI) da UFRGS e tem por objetivo apresentar um Plano Orientador para o desenvolvimento de uma atividade experimental investigativa voltada para o estudo de conceitos de Química Orgânica no Ensino Médio, em especial: estrutura química, polaridade e forças intermoleculares dos compostos orgânicos. O experimento relatado propõe a separação de pigmentos de alguns materiais que fazem parte do cotidiano, por meio da análise dos seus comportamentos na presença de solventes que se diferem pela polaridade e massa molecular. Esse Plano Orientador, juntamente com outros dois: “Relação entre estrutura química e propriedades dos compostos orgânicos” e “Pureza dos medicamentos”, constitui o Produto Educacional da dissertação da primeira autora do artigo.

Almeja-se com esta atividade explorar o potencial da experimentação no Ensino de Química Orgânica para o desenvolvimento de habilidades cognitivas pelos estudantes da 3ª série do Ensino Médio, por intermédio de uma abordagem investigativa.

## 2. Fundamentação Teórica

### 2.1. Experimentação investigativa e o desenvolvimento de habilidades

A BNCC ressalta a importância dos processos e práticas investigativas no âmbito da aproximação do estudante com a identificação de problemas que o coloque em posição ativa nas atividades desenvolvidas em sala de aula. A solução desses problemas exige o levantamento de informações relevantes; a elaboração de hipóteses, argumentos e explicações, planejamento de procedimentos; a realização de testes experimentais e tirar conclusões a partir da análise de dados e informações coletadas durante a investigação, o que, conseqüentemente, promove o protagonismo do estudante, pois além de adquirir as informações, ele aprende como obtê-las, produzi-las e analisá-las criticamente.<sup>4</sup>

A experimentação quando aliada à abordagem investigativa, oportuniza a contextualização de saberes

científicos e o desenvolvimento de habilidades para a vida real. A atividade experimental com esse viés é vista como uma estratégia que permite aos alunos autonomia no processo de construção do conhecimento.

Para Suart,<sup>9</sup> a atividade experimental investigativa é definida como aquela em que os estudantes participam de todas as etapas do planejamento experimental, sendo instigados pelo professor, o qual faz indagações e propõe desafios aos estudantes. De forma autodirigida e ativa, os estudantes assumem responsabilidades pela sua aprendizagem e pelo desenvolvimento de competências.<sup>13</sup>

Essas atividades partem do conhecimento que o estudante já possui sobre o assunto, ou seja, em um primeiro momento, acontece a elaboração das hipóteses. Assim, o estudante explora fenômenos partindo de situações problema, e a aprendizagem ocorre através da proposição de soluções a partir da elaboração de um plano experimental desenvolvido pelos próprios estudantes.<sup>14</sup> Freire<sup>15</sup> destaca a importância do protagonismo do estudante na construção da aprendizagem através de abordagens investigativas, “onde ele participa de todas as etapas do experimento (planejamento para implementação, desenvolvimento das atividades, discussão e conclusão)” (p. 23-24), favorecendo uma aprendizagem mais consistente.<sup>15</sup>

Neste tipo de intervenção, geralmente, o professor não fornece um roteiro de atividade experimental, mas orienta e possibilita ao estudante a liberdade para desenvolver todas as etapas que atividades dessa natureza necessitam, como a análise do problema, levantamento de hipóteses, preparo e execução dos procedimentos, análise e discussão dos resultados.<sup>13,16</sup> Essa proposta requer um planejamento para a realização do experimento, bem como anotações, análise de dados e o desenvolvimento da capacidade de argumentação através da sistematização das observações obtidas pelos estudantes.<sup>7,14</sup>

Suart e Marcondes<sup>8</sup> relacionam o esforço cognitivo exigido para o aluno resolver o problema experimental e o nível cognitivo, ou seja, quanto maior o esforço mental dos estudantes, maior a capacidade de desenvolver habilidades de nível cognitivo superior. As atividades experimentais investigativas podem ser classificadas em três níveis conforme as perguntas propostas pelo professor enquanto os estudantes participam da investigação (Tabela 1).

Essa classificação permite analisar se os questionamentos dos professores são de fato desafiadores e significativos para os estudantes. Também avalia o nível de habilidade cognitiva que eles devem desenvolver para que possam solucionar o problema.

Borges<sup>14</sup> apresenta a discussão sobre “o grau de abertura” que o estudante tem ao realizar uma atividade, ou seja, o

**Tabela 1.** Nível de exigência cognitiva requerido pelas questões propostas para os alunos<sup>8</sup>

Nível	Descrição
1	Requer que o estudante somente recorde uma informação partindo dos dados obtidos.
2	Requer que o estudante desenvolva atividades como sequenciar, comparar, contrastar, aplicar leis e conceitos para a resolução do problema.
3	Requer que o estudante utilize os dados obtidos para propor hipóteses, fazer inferências, avaliar condições e generalizar.

quanto de liberdade os estudantes têm para desenvolverem cada etapa do roteiro desta atividade. Nessa mesma linha de pensamento, De Jong<sup>11</sup> destaca as diferentes categorias de experimentos baseadas na ideia de “graus de liberdade” que podem ser definidos com a participação requerida dos estudantes para a execução das atividades experimentais, tendo mais ou menos autonomia para sua execução. A Tabela 2 apresenta a relação entre a participação dos alunos (A) e a categoria que o experimento é classificado.<sup>11</sup>

Na primeira categoria de experimentos, os alunos apenas interpretam dados e tiram conclusões. A segunda categoria inclui as observações e registros de fenômenos. Já a terceira categoria de experimentos envolve escolher e usar procedimentos de medição apropriados e outras atividades práticas. Uma quarta categoria inclui elaborar um plano geral de atividades. Uma quinta inclui todas as atividades anteriores e a de reformular um problema através do desenvolvimento de hipótese. Por fim, uma sexta categoria de experimentos inclui as etapas anteriores e se expande com a atividade de levantar um problema geral.<sup>11</sup>

Desta forma, quanto mais liberdade os estudantes têm para desenvolver a atividade, maior o caráter investigativo da aula. Assim, espera-se que os estudantes alcancem resultados de aprendizagem que incluam pensamento crítico, capacidade de investigação independente, responsabilidade pela própria aprendizagem e crescimento intelectual e maturidade.<sup>17</sup>

A resolução de problemas pode ocorrer de várias maneiras, que dependem do esforço cognitivo empregado pelos estudantes durante a execução das atividades envolvidas no experimento. Esses diferentes níveis de demanda cognitiva requeridos para a resolução de problemas são classificados em duas categorias: as habilidades cognitivas de baixa ordem (LOCS: *Lower Order Cognitive Skills*) e as de alta ordem (HOCS: *Higher Order Cognitive Skills*). Há ainda dentro das LOCS, uma categoria a parte ou uma subcategoria classificada como questões ALG (algorítmicas).<sup>18</sup>

As LOCS ocorrem quando os estudantes têm a capacidade de conhecer, lembrar informações ou aplicar conhecimento ou algoritmos memorizados e resolução de exercícios. Já as HOCS são aquelas onde o estudante tem capacidade para a investigação, resolução de problemas (não exercícios), tomada de decisões, desenvolvimento do pensamento crítico e avaliativo.<sup>8</sup> Portanto, espera-se

que a metodologia investigativa desencadeie habilidades cognitivas de alta ordem nos estudantes.

As soluções elaboradas pelos alunos podem ser categorizadas de acordo com as habilidades cognitivas empregadas. Suart e Marcondes<sup>19</sup> listam as habilidades desenvolvidas nos estudantes a partir da análise das respostas dadas aos questionamentos elaborados pelo professor quando eles participavam de atividades experimentais investigativas (Tabela 3).

Verifica-se que, quanto mais complexo for o processo cognitivo exigido para a resolução de problemas, de mais alta ordem será a habilidade desenvolvida no estudante. A partir disso, pressupõe-se que uma atividade experimental investigativa bem elaborada e aplicada pode contribuir para o desenvolvimento de habilidades cognitivas de alta ordem.

Conforme a BNCC, o desenvolvimento de habilidades favorece o exercício do pensamento crítico, a tomada de decisões responsáveis, éticas e consistentes na identificação e solução de situações-problema. Espera-se que no Ensino Médio os estudantes desenvolvam competências específicas, como analisar, compreender, utilizar e construir; a partir dessas competências, desenvolvam habilidades como investigar, representar, utilizar, avaliar, analisar, interpretar, elaborar, justificar e comunicar.<sup>4</sup>

## 2.2. Relação da estrutura química dos pigmentos com a cor

A cor visualizada pelo olho humano é devido a presença de grupos específicos nas estruturas químicas de determinadas substâncias, que interagem com a luz e impressionam as células receptivas do olho humano. Esses grupos são denominados de cromóforos e possuem muitos elétrons em insaturações ou pares de elétrons livres, os quais são responsáveis pela absorção e emissão da radiação eletromagnética. Frequentemente, podemos associar o grupo cromóforo com o grupo funcional das moléculas orgânicas. Além disso, os pigmentos orgânicos possuem grupamentos auxocromos, que sozinhos não produzem cor, mas em conjunto com grupos cromóforos são responsáveis por modificar ou intensificar propriedades relacionadas a cor, como intensidade e tonalidade.<sup>20</sup>

A cor em compostos químicos ocorre quando o grupo cromóforo absorve energia radiante na faixa do visível

**Tabela 2.** Categorias de experimentos de acordo com o grau de participação do estudante<sup>1</sup>

	Categoria do experimento					
	I	II	III	IV	V	VI
Etapas no procedimento	Realizado pelo Professor (P) ou pelo Aluno (A)					
Levantar um problema	P	P	P	P	P	A
Formular hipóteses	P	P	P	P	A	A
Planejar um experimento	P	P	P	A	A	A
Realizar o experimento	P	P	A	A	A	A
Registrar dados/observações	P	A	A	A	A	A
Tirar conclusões	A	A	A	A	A	A

**Tabela 3.** Nível cognitivo das respostas dos alunos<sup>8</sup>

Nível	Categoria de resposta ALG
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não reconhece a situação problema.</li> <li>• Limita-se a expor um dado lembrado.</li> <li>• Retem-se a aplicação de fórmulas ou conceitos.</li> </ul>
Nível	Categoria de resposta LOCS
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reconhece a situação problemática e identifica o que deve ser buscado.</li> <li>• Não identifica variáveis.</li> <li>• Não estabelece processos de controle para a seleção das informações.</li> <li>• Não justifica as respostas de acordo com os conceitos exigidos.</li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explica a resolução do problema utilizando conceitos já conhecidos ou lembrados (resoluções não fundamentadas, por tentativa) e quando necessário representa o problema com fórmulas ou equações.</li> <li>• Identifica e estabelece processos de controle para a seleção das informações.</li> <li>• Identifica as variáveis, podendo não compreender seus significados conceituais.</li> </ul>
Nível	Categoria de resposta HOCS
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleciona as informações relevantes.</li> <li>• Analisa ou avalia as variáveis ou relações causais entre os elementos do problema.</li> <li>• Sugere as possíveis soluções do problema ou relações causais entre os elementos do problema.</li> <li>• Exibe capacidade de elaboração de hipóteses.</li> </ul>
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aborda ou generaliza o problema em outros contextos ou condições iniciais.</li> </ul>

(comprimento de onda entre 400 e 720 nm). Os elétrons são excitados a um nível energético maior e a frequência é subtraída da luz através da absorção. O elétron excitado tem tendência a retornar ao estado fundamental, emitindo o resto da luz por meio da reflexão ou espalhamento.<sup>21</sup>

A cor observada se refere ao comprimento de onda refletido, ou seja, a cor complementar é visualizada. Se o grupo cromóforo absorve luz no comprimento de onda azul, a cor observada será amarela.<sup>22</sup> Neste contexto, na Tabela 4 são apresentados os comprimentos de onda absorvidos pelas moléculas que constituem determinado material e a respectiva cor que é observada.

Observando o espectro visível, a cor ‘vermelha’ é uma luz de frequência relativamente baixa, ou seja, está associada aos comprimentos de onda longos e o ‘violeta’ é de frequência alta, ou seja, comprimentos de onda mais curtos. Outras faixas fora dos limites do espectro magnético visível não conseguem interagir com o sistema de visão humano, de modo que não geram imagens e cores no nosso cérebro.<sup>23,24</sup>

Os grupos cromóforos podem estar presentes em compostos que apresentam insaturações, como os alcenos,

alcenos conjugados, alcinos e aromáticos, e em compostos que apresentam os grupos funcionais carbonila, carboxila, amida, azo, nitro, nitroso e nitrato. Para exemplificar, pode-se citar o corante artificial tartrazina, um azocorante de coloração amarela muito empregado pelas indústrias alimentícia e de medicamentos, mencionado na “Questão para discussão” do Plano Orientador que será apresentado neste artigo, ilustrado na Figura 1.

O grupamento cromóforo azo, constituído pelo grupo -N=N- é formado pela ligação dupla de dois átomos de nitrogênio com elétrons não ligantes *n*. A absorção e a emissão de luz do grupo cromóforo azo é devido a presença de um orbital  $\pi$  e dos pares de elétrons não-ligantes (*n*) no átomo de nitrogênio. No caso da tartrazina, o cromóforo está conjugado com um sistema aromático contendo grupos doadores e aceptores de elétrons. Quando isso ocorre, o máximo da absorção se desloca para valores menores de energias, ou seja, do Ultravioleta (UV) para a região do visível e o olho percebe esta substância colorida. As cores mais brilhantes são observadas quando a banda de absorção é estreita, fina e intensa.<sup>20,21</sup> O exemplo da tartrazina mostra que a cor que observamos nem sempre é

**Tabela 4.** Absorção de luz e a cor aparente<sup>21</sup>

Comprimento de onda (nm)	Luz absorvida		Aparência do absorvedor	
	Comprimento de onda (nm)	Cor	Cor complementar	
400 a 440		violeta	verde-amarelado	
440 a 480		azul	amarelo	
480 a 490		azul-esverdeado	cor laranja	
490 a 500		verde-azulado	vermelho	
500 a 560		verde	púrpura	
560 a 580		verde-amarelado	violeta	
580 a 595		amarelo	azul	
595 a 605		cor laranja	azul-esverdeado	
605 a 750		vermelho	verde-azulado	

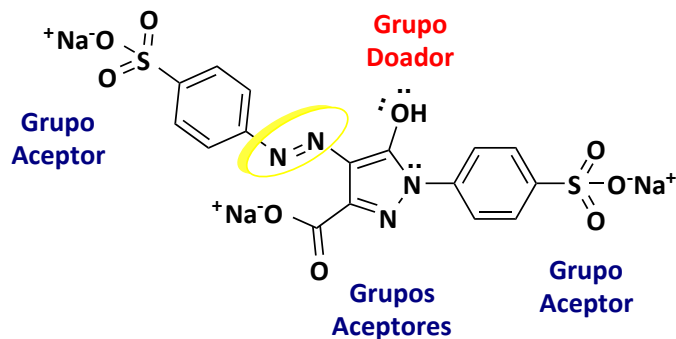


Figura 1. Representação da estrutura química da tartrazina

uma consequência direta da presença das insaturações, visto que naftaleno, antraceno e outros poliaromáticos são sólidos brancos e formam soluções incolores. As transições eletrônicas observadas nos processos de absorção e emissão dependem também das diferenças de energias entre os orbitais de fronteira envolvidos nesses processos. Dessa forma, a cor dos materiais é uma consequência também dessa diferença de energia entre os orbitais que participam desse evento fotoquímico.

Um outro exemplo que mostra a importância do grupo cromóforo é o índigo, cor observada no jeans, a qual pode variar entre tons escuros a claros devido a presença do grupamento cromóforo indigoide. É um corante orgânico de origem vegetal, sendo o gênero mais importante o *Indigofera*, e dentro deste gênero a espécie *Indigofera tinctoria*, nativa da Índia e Sudeste da Ásia.<sup>25</sup> A cor azul é rara na sua forma natural. Atualmente é sintetizado, por exemplo, o corante artificial azul de indigotina (Figura 2), classificado como corante indigoide. Além de ser utilizado como corante têxtil, também é aplicado em produtos alimentícios, como gelatinas, refrescos, pós para bebidas, doces e outros.<sup>20</sup> O azul de indigotina possui banda de absorção na faixa de 610 nm.<sup>26</sup>

Observa-se em comum aos dois corantes a presença de grupos doadores de elétrons e grupos receptores de elétrons facilitando a deslocalização eletrônica via a transferência inter e intramolecular de hidrogênios, conferido a cor de tonalidade amarela ou azul escuro, para os respectivos corantes. Além disso, esses corantes carregam na sua estrutura grupos polares iônicos (arilsulfatos de sódio, ArSO<sub>3</sub>Na) para melhorar a solubilidade em solventes polares próticos.

As antocianinas, classe de pigmentos pertencente ao grupo dos flavonoides, são exemplos de corantes derivados do cátion flavílio (Figura 3). A pigmentação de flores e muitas frutas como uvas e jaboticabas se deve a presença das antocianinas.

As cores exibidas por essa classe de pigmentos são determinadas pela capacidade do núcleo do cátion flavílio e dos grupos funcionais ligados nas posições destacadas na Figura 3, que absorvem radiação na região da luz visível. Contudo, a cor é fortemente afetada pelo pH em que se encontra o pigmento.<sup>27-29</sup> A posição 3 pode apresentar uma hidroxila livre e o pigmento leva o nome de antocianidina. Quando a posição 3 apresenta um açúcar ligado, o pigmento

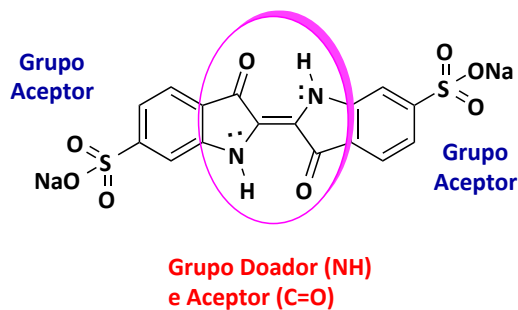


Figura 2. Estrutura química do corante azul de indigotina

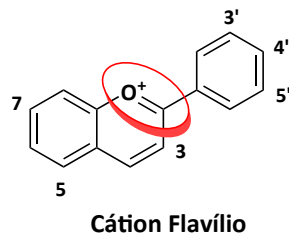


Figura 3. Representações da estrutura química do íon flavílio

é denominado de antocianina.<sup>30</sup> Na Figura 4 são mostradas as formas predominantes em diferentes pHs e as respectivas cores de duas antocianidinas: delfinidina e malvidina.

A cor azul é predominante para pigmentos em solução de pH em torno de 7-9, enquanto a cor violeta geralmente ocorre em pH na faixa de 4-6. Nessas circunstâncias, a transferência de próton produz quinonas neutras de cor violeta e aniônicas de cor azul. A cor vermelha é observada devido ao cátion flavílio, presente em soluções de pH em torno de 2. O anel 2-fenilbenzopiriliúim (cátion flavílico) com os substituintes periféricos nas posições 3, 4', 5 e 7 é um sistema  $\pi$  com deslocalização eletrônica plena, o qual favorece o processo de absorção da radiação na região do visível e, conseqüentemente, exibe através da emissão, as variadas cores visualizadas por esses pigmentos.<sup>27,30,31</sup>

As representações  $AH^+$ ,  $A$  e  $A^-$  descritas na Figura 4 representam as formas ácidas, neutras e aniônicas presentes no equilíbrio tautomérico ceto-fenólico (quinona-cátion flavílio). As antocianinas ocorrem na natureza na forma heteroglicosídica, contendo pelo menos um açúcar, sendo os mais comuns a glicose, ramnose, galactose e arabinose ligadas ao átomo de carbono C3. A presença de grupos hidroxilas proporciona uma maior solubilidade em água e álcool e a insolubilidade em óleos e gorduras.<sup>32</sup> Esta diversidade molecular de pigmentos contendo o cátion flavílico resulta em uma coleção de moléculas com extraordinária variação de cores.<sup>20</sup> As espécies presentes em solução desses pigmentos podem colapsar por um outro mecanismo que não envolve o equilíbrio ceto-fenólico. Nesses casos, o cátion flavílio por gerar espécies incolores em solução através da formação de hemiacetais, os quais colapsam para as formas abertas das chalconas *Z* e *E* que produzem soluções amarelas<sup>33</sup> (Figura 4).

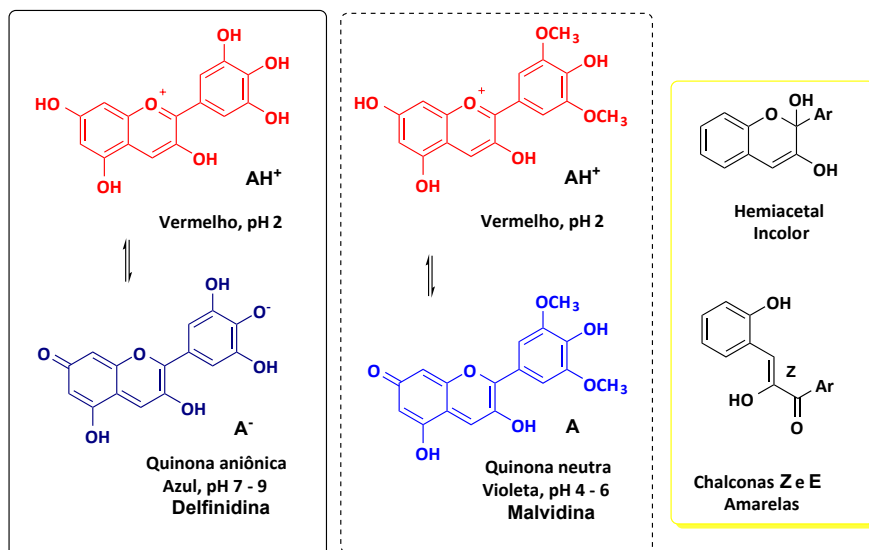
As antocianinas absorvem na região do espectro visível entre 520 a 560 nm. A intensidade dessa absorção pode

ser modificada de acordo com o pH do meio. A perda de coloração pode ser determinada quando ocorre aumento do pH devido ao colapso do cátion flavílio (Figura 4), o que faz com que a máxima absorção se desloque para menores comprimentos de onda.<sup>30,34,35</sup>

As substâncias derivadas do íon flavílio são solúveis em água, devido aos grupos hidroxilas presentes nas moléculas, o que facilita sua solubilidade em meio polar.<sup>36</sup> No Plano Orientador descrito neste artigo, será explorada a técnica de cromatografia em papel e em coluna (fase estacionária) para a extração de pigmentos de flores, usando etanol como eluente (fase móvel). O gradiente de polaridade da fase móvel pode ser alterado de etanol para acetona. O uso da fase mais polar é recomendado devido a polaridade elevada dos pigmentos.

A cromatografia é um método físico-químico de separação de componentes de uma mistura, que tem como fundamento básico a migração diferencial dos componentes entre uma fase móvel e uma fase estacionária.<sup>37</sup> Do ponto de vista histórico, a cromatografia foi primeiramente usada em 1901 por químicos russos na separação de pigmentos coloridos presentes em folhas. A cromatografia em papel é uma técnica relativamente simples e utilizada, principalmente, na separação e identificação de compostos polares.<sup>36</sup> A técnica consiste na diferença da migração de substâncias através de uma fase fixa, no caso o papel (adsorvente), por meio da fase móvel (solvente) que arrasta o que está sendo separado. Já a cromatografia em coluna é constituída por um tubo, onde é empacotada a fase estacionária e uma fase móvel, também chamada eluente. A separação de uma mistura utilizando a cromatografia depende das interações que ocorrem entre os componentes da mistura e as fases estacionária e móvel.<sup>38</sup>

Na separação de uma mistura na qual a fase estacionária é polar, os pigmentos apolares eluem mais rapidamente que os pigmentos polares. Os compostos polares possuem



**Figura 4.** Representações das estruturas químicas das antocianidinas Delfinidina e Malvidina. A cor e forma predominante nas respectivas faixas de pH, bem como a hidrólise do cátion flavílio para formar as chalconas isoméricas *Z* e *E*. Isômero *Z* é mostrado

maiores interações com a fase estacionária (por exemplo, a celulose, no caso do experimento apresentado neste artigo, que também é polar) ficando mais adsorvido a ela. Portanto, para que substâncias mais polares sejam eluídas é necessário o uso de solventes de maior polaridade, assim como substâncias apolares eluem com solventes de menor polaridade.<sup>37,39</sup>

Quanto às forças intermoleculares, as forças dipolo-dipolo ou dipolo-dipolo induzido ocorrem em moléculas com polaridade baixa e média, ou seja, são cargas eletrostáticas parciais criadas nos átomos que compõem uma ligação covalente entre átomos com diferenças de eletronegatividades baixas e média. Considerando que as moléculas orgânicas mais complexas apresentam muitas ligações diferentes, as forças intermoleculares não são uniformes ao longo de sua superfície. A maioria das moléculas orgânicas possui uma polaridade permanente, resultante da distribuição não-uniforme dos elétrons de ligação.<sup>40</sup> O etanol (eluente) é um líquido associado, que se auto-organiza através das ligações de hidrogênio e um grupamento hidroxila, formado por uma ligação curta e polarizada entre oxigênio e hidrogênio. O etanol possui ponto de ebulição de 78,3 °C, sendo um solvente apropriado para ser usado como eluente polar (gradiente de polaridade) na técnica de cromatografia para a separação de pigmentos polares como mencionado acima.<sup>41</sup>

### 3. Metodologia

A intenção com o desenvolvimento desta pesquisa é contribuir com o Ensino de Química Orgânica no nível médio a partir de uma sequência de aulas experimentais, da qual o Plano Orientador que será apresentado faz parte. Os Planos Orientadores constituem o produto educacional da dissertação da primeira autora deste artigo e estão sendo aplicados em turmas da 3ª série do Ensino Médio de duas escolas estaduais do Rio Grande do Sul. Neste trabalho, serão apresentadas as etapas de um dos Planos Orientadores, bem como uma proposta para o seu desenvolvimento no Ensino Médio com o intuito de divulgar o produto educacional elaborado, que teve a sua aplicação prejudicada por decorrência da crise sanitária da Covid-19, a qual interrompeu as aulas presenciais dando espaço ao Ensino Remoto Emergencial, o que inviabilizou temporariamente o desenvolvimento de experimentos.

De maneira geral, para a elaboração dos Planos Orientadores foi levada em consideração a literatura abordada, atentando para as seguintes características: o problema proposto permite que os estudantes formulem hipóteses; a atividade a ser desenvolvida possibilitará o envolvimento e engajamento dos estudantes; as observações e registros possibilitarão a construção do saber científico, características estas, que levam ao desenvolvimento de habilidades cognitivas de alta ordem.

No que se refere à elaboração dos experimentos abordados nos Planos Orientadores, consideraram-se as orientações propostas por Marcondes *et al.*,<sup>3</sup> Suart e Marcondes,<sup>8</sup> De Jong,<sup>11</sup> Freire<sup>15</sup> e Spronken-smith *et al.*,<sup>13</sup> os quais fornecem subsídios e sugerem etapas para que atividades experimentais possuam caráter de investigação. Nesta abordagem, atenta-se para a investigação independente e a responsabilidade pela própria aprendizagem, de forma que o estudante tenha liberdade de testar hipóteses partindo de uma situação-problema.<sup>11,13,16</sup> Sendo assim, os estudantes têm a liberdade para propor o modo de investigação, uma vez que esse tipo de atividade permite avaliar a capacidade do indivíduo de monitorar e autorregular os próprios processos cognitivos.<sup>8,15</sup>

O Plano Orientador da atividade experimental apresentada neste trabalho é intitulado “*Grupos cromóforos e sua relação com a cor*”, o qual aborda os seguintes conceitos químicos: características estruturais, como funções orgânicas e estruturas químicas (fórmula molecular e estrutural), densidade eletrônica e polaridade das moléculas; forças intermoleculares; propriedades físicas (solubilidade); método de separação de substâncias em uma mistura (Cromatografia em papel e em coluna).

Durante a elaboração do experimento, priorizou-se por materiais acessíveis e presentes no cotidiano. Neste contexto, são necessários materiais para a cromatografia em papel e em coluna, além de corantes. A Tabela 5 apresenta uma sugestão de materiais que podem ser empregados.

O experimento proposto no Plano Orientador pode ser classificado quanto ao nível de exigência cognitiva requerido pelas questões propostas para os alunos como de nível 3. Isso significa que o estudante deverá utilizar os dados obtidos para propor hipóteses, fazer inferências, avaliar condições e generalizar. Quanto ao grau de liberdade, a atividade experimental se encaixa na categoria V, uma vez que o problema é proposto pela professora, enquanto a definição de hipóteses, planejamento, execução e registro do experimento são desenvolvidos pelos estudantes.

**Tabela 5.** Materiais e reagentes sugeridos para o experimento do Plano Orientador

	Cromatografia em papel	Cromatografia em coluna
Materiais	Papel filtro ou filtro de café, tesoura, béquer, lápis, régua	Bureta, suporte universal, garra, bastão de vidro, algodão, funil, pipeta de Pasteur, gral e pistilo, béquer ou Erlenmeyer para coleta das frações
Reagentes	Solventes (etanol, acetona)	Adsorvente (farinha, amido ou açúcar), solventes (etanol, acetona)
Corantes	Serão escolhidos pelos estudantes (folhas ou flores de vegetais com coloração variada ou doces, como confetes e gelatinas).	

Na Tabela 6 são apresentados os objetivos conceituais e procedimentais que nortearam a elaboração do Plano Orientador, bem como as habilidades almeçadas com o seu desenvolvimento.

Na sequência é apresentado o Plano Orientador, bem como uma proposta para o seu desenvolvimento considerando a atual realidade do ensino de Química nas escolas públicas brasileiras.

#### 4. Produto Educacional: Plano Orientador “Grupos Cromóforos e sua Relação com a Cor”

O intuito do Plano Orientador é auxiliar os professores no desenvolvimento da atividade experimental investigativa proposta em sala de aula. Esse plano é constituído por uma sequência de atividades (Tabela 7), que contemplam etapas de verificação das concepções prévias, elaboração de hipóteses pelos estudantes, propostas de questões para discussão em sala, entre outros, os quais caracterizam a abordagem como investigativa.

Na sequência é apresentada uma proposta para o desenvolvimento do Plano Orientador da atividade experimental “Grupos cromóforos e sua relação com a cor”, na qual considerou-se a baixa carga horária da disciplina de Química no contexto atual do Ensino Médio brasileiro. Desta forma, estima-se que o Plano Orientador possa ser desenvolvido em quatro aulas (totalizando oito horas aula), nas quais:

**1ª aula:** Inicialmente é apresentada a situação-problema, que relaciona a coloração das flores com os grupos cromóforos presentes em certos compostos químicos. Na sequência, o problema é colocado para os estudantes, o qual os instigam a pensar sobre a relação entre a Química Orgânica, as cores e a técnica utilizada para separação de pigmentos. A seguir, é feita a verificação dos conhecimentos prévios, por meio de questionamentos a fim de levantar dados sobre o que os estudantes sabem sobre pigmentos. Além disso, são

revisados os métodos de separação de misturas para auxiliá-los na elaboração do procedimento experimental.

**2ª aula:** São apresentadas informações aos estudantes a respeito do tema, por exemplo, estruturas moleculares responsáveis pela cor de certos pigmentos em folhagens ornamentais cultivadas na região. Na sequência, eles devem formular as hipóteses para solucionar o problema apresentado na aula anterior. Por fim, o(a) professor(a) avalia a possibilidade ou não da realização da proposta experimental apresentada pelos estudantes e propõe ajustes se for necessário.

**3ª aula:** Consiste na realização da proposta experimental. O(a) professor(a) disponibiliza sobre a bancada os materiais e reagentes para as cromatografias em papel e em coluna (sugeridos na Tabela 5), bem como materiais de interesse (folhas, flores ou doces) dos estudantes para a separação dos corantes. Nesta aula, as propostas experimentais elaboradas anteriormente são executadas sob a supervisão do professor(a).

**4ª aula:** Inicia com a aplicação do Questionário pós-laboratório, no qual os estudantes devem relacionar as estruturas químicas dos pigmentos com a polaridade e fazer previsões de solubilidade para estes compostos. Após, é feita a discussão sobre a confirmação ou não das hipóteses através dos resultados obtidos no desenvolvimento da atividade experimental. A seguir é feita a aplicação dos conhecimentos construídos através de uma pesquisa sobre a história do jeans e extração do pigmento para a sua coloração. Por fim, na questão para discussão é proposta uma pesquisa sobre a fórmula estrutural do corante sintético amarelo tartrazina, seu grupo cromóforo e se o uso deste corante pode acarretar prejuízo para a saúde dos consumidores que fazem uso de produtos que contenham o referido corante.

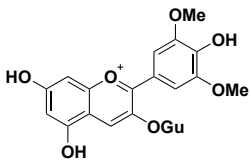
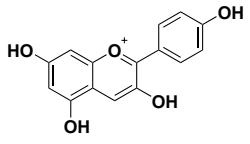
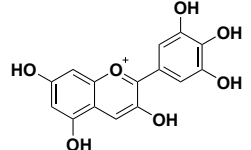
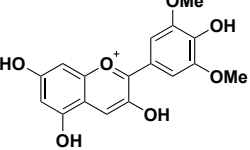
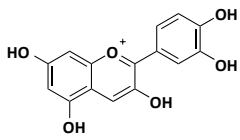
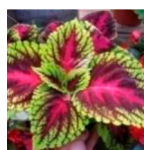

Espera-se com a realização desta proposta que os estudantes percebam a interação entre os pigmentos e a celulose/adsorvente e que essas interações é que determinam o quanto o pigmento subirá ou eluirá. Quanto mais forte a interação, mais lento será o processo de subida do pigmento, para a cromatografia em papel, e compostos com polaridades

**Tabela 6.** Objetivos e habilidades a serem desenvolvidos pelo Plano Orientador

Objetivos Conceituais	Objetivos Procedimentais	Habilidades
- Perceber a influência da estrutura dos compostos orgânicos nas suas propriedades e características físicas;	- Observar variáveis como a diferença de solubilidade entre os diferentes pigmentos;	- Justificar a diferença de solubilidade entre os diferentes pigmentos, utilizando conceitos químicos para caracterizar as substâncias e fenômenos químicos;
- Compreender a relação entre a polaridade da molécula e as interações intermoleculares;	- Utilizar conceitos químicos para caracterizar as substâncias e transformações químicas, identificando suas propriedades;	- Interpretar resultados e formular explicações para os diferentes resultados de tempo de eluição entre os diferentes pigmentos;
- Identificar a presença de grupos cromóforos em estruturas químicas de corantes;	- Identificar os diferentes constituintes de determinadas amostras naturais.	- Investigar e avaliar a extração de pigmentos e sua aplicação nas atividades humanas, que vão desde a pintura corporal indígena até a indústria têxtil;
- Relacionar a deslocalização de elétrons ( $\pi$ ou livres) com propriedades relacionadas a cor;	- Interpretar textos científicos que tratam de fenômenos da Ciência, considerando a apresentação dos dados, interpretando equações, gráficos e tabelas;	- Interpretar e analisar textos científicos para compreender as diferenças entre pigmentos naturais e artificiais, a função dos pigmentos nos vegetais, além da coloração, e a necessidade do manejo correto dos corantes em relação a manutenção do meio ambiente.
- Analisar a diferença de solubilidade entre os diferentes pigmentos.	- Utilizar corretamente instrumentos de análise.	



**Tabela 7.** Etapas do Plano Orientador “*Grupos cromóforos e sua relação com a cor*”

<b>Situação Problema</b>	A coloração das flores está diretamente relacionada ao processo de adaptação e manutenção da espécie, devido à presença de pigmentos responsáveis por atrair organismos polinizadores. A pigmentação das flores se deve a várias classes de substâncias, como as porfirinas, carotenoides e flavonoides, sendo que estes últimos possuem o principal grupo cromóforo presente nas flores. Os flavonoides subdividem-se em antocianinas (cor rosa, laranja, azul, violeta, vermelho) e os flavonóis (cor amarela). Compreende-se, então, que em uma mesma estrutura floral é possível a presença de vários pigmentos.
<b>Problema</b>	No seu entendimento, como a Química Orgânica pode estar relacionada à pigmentação dos vegetais? De que maneira os pigmentos que formam os corantes, sejam eles artificiais ou naturais, podem ser separados?
<b>Verificação de conhecimentos prévios</b>	O mundo nos oferece uma infinidade de cores, tanto em produtos naturais quanto em materiais produzidos pelo ser humano. - O que você sabe sobre as cores? - Qual a origem dos pigmentos? - Como são feitos os pigmentos (ou corantes)? - Quais as diferenças entre corantes naturais e artificiais? - Qual a função dos pigmentos nos vegetais além de dar cor? Observe as estruturas a seguir:
	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>Malvina</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Pelargonidina</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>Delfinidina</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Malvidina</p> </div> </div>
<b>Informações</b>	O que essas estruturas têm em comum? Que parte da molécula (grupos cromóforos) você acha que está relacionada com a cor do pigmento? É muito comum o uso de folhagens ornamentais na nossa região, dentre as quais o cóleus ou coração magoado (nome científico <i>Solenostemon scutellarioides</i> ) e o cróton (nome científico <i>Codiaeum variegatum</i> ) vêm ganhando apreciadores por suas folhas coloridas. Essas folhas apresentam colorações variadas, que vão do amarelo ao vermelho. O vermelho pode estar relacionado a presença de antocianinas, pigmentos vegetais pertencentes ao grupo dos flavonoides, os quais têm função de proteger as plantas da radiação ultravioleta e da produção de radicais livres. A variedade de cores vai do vermelho-alaranjado, ao vermelho vivo, roxo e azul. Abaixo a fórmula estrutural de uma antocianina, a cianidina (substância responsável pelo pigmento presente em vegetais como jabuticaba, cereja, uva, morango, amora, figo, repolho roxo e açaí):
	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  <p>Cóleus</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Cróton</p> </div> </div>
<b>Hipóteses/Sugestões</b>	Solicitar aos alunos que escolham materiais coloridos (flores, folhas ou doces coloridos) e sugiram um meio de separar os pigmentos que formam as cores dos materiais escolhidos. Espera-se que apontem a cromatografia em papel e em coluna como técnicas escolhidas. Talvez seja necessário recordar os métodos de separação de misturas para que eles relembrem alguns conceitos.
<b>Pré-laboratório</b>	Discutir com os alunos a sugestão de atividade elaborada por eles para separação de pigmentos. Fazer os ajustes e elaborar um passo a passo como orientação para o desenvolvimento do experimento.
<b>Laboratório</b>	Utilizar o procedimento elaborado pelo grupo de alunos, revisado pelo(a) professor(a).
<b>Questionário pós laboratório</b>	- Os solventes orgânicos poderiam ser substituídos por água para o preparo dos extratos? Justifique. - Como podemos prever a solubilidade dos pigmentos analisando as suas estruturas químicas? - Coloque os solventes orgânicos usados na técnica em ordem crescente de polaridade. Justifique. - Explique as diferenças entre a cromatografia em papel e a cromatografia em coluna.
<b>Conclusão</b>	Discussão acerca da confirmação ou não das hipóteses através dos resultados obtidos no desenvolvimento da atividade experimental. Pode-se discorrer novamente os questionamentos feitos na verificação dos conhecimentos prévios. Por exemplo, analisar possíveis erros, ou seja, se os resultados não foram os esperados e buscar explicação para esse fato, como, excesso de solvente, interferência de outras substâncias, entre outros. Apontar se as substâncias que avançaram mais rapidamente são polares ou apolares. Justificar.
<b>Aplicação</b>	Pesquisar sobre a história de coloração do jeans e a origem do pigmento inicialmente utilizado. Utilize o seguinte artigo para guiar sua leitura: <a href="http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc37_3/04-QS-42-13.pdf">http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc37_3/04-QS-42-13.pdf</a> . A seguir, responda: Como era feita a extração do corante desejado para colorir o jeans? Existe alguma semelhança com a técnica realizada nesta aula? Quais os grupos cromóforos presentes no índigo lhe conferem coloração azul?
<b>Questão para discussão</b>	Os corantes artificiais podem ser encontrados em guloseimas (chicletes, balas, doces em geral), sucos de caixinha, caldo de carne, cereais matinais, energéticos, maquiagens, remédios, etc. Dentre os corantes artificiais destaca-se o amarelo tartrazina. Pesquise a fórmula estrutural deste corante sintético e aponte o grupo cromóforo responsável pela sua cor. Pesquise também se o uso desse corante pode acarretar prejuízo para a saúde dos consumidores.

diferentes da fase estacionária eluem mais rapidamente, para a cromatografia em coluna. Também se almeja que os estudantes relacionem e sistematizem as informações relevantes obtidas com o desenvolvimento do experimento para a compreensão da situação-problema.

## 5. Considerações Finais

O produto educacional apresentado neste trabalho traz uma proposta de atividade experimental investigativa viável para o contexto das escolas de Ensino Médio. O Plano Orientador “Grupos cromóforos e sua relação com a cor” é destinado para os professores de Química e contempla uma série de etapas que, segundo a literatura da área, conferem o caráter investigativo à experimentação. Ressalta-se que é necessário garantir algumas características, tais como: o objetivo do experimento deve ser claro; não se torne apenas uma atividade demonstrativa, ou seja, possibilite ao estudante propor soluções para problemas, raciocinar, argumentar e explicar resultados, para que o propósito da investigação seja atingido. Assim, com a aplicação de experimentos desta natureza no Ensino Médio, espera-se abrir um espaço de diálogo, entre professor e estudante e entre os próprios estudantes, visando o aprofundamento dos conceitos de Química Orgânica de forma colaborativa. Além disso, por meio da experimentação desenvolver habilidades cognitivas superiores, tais como selecionar e avaliar informações para a resolução de problemas, além de generalizar os tópicos estudados em outros contextos.

## Referências Bibliográficas

- Galiazzi, M. D. C.; Rocha, J. M. D. B.; Schmitz, L. C.; Souza, M. L. D.; Giesta, S.; Gonçalves, F. P.; Objetivos das atividades experimentais no Ensino Médio: a pesquisa coletiva como modo de formação de professores de Ciências. *Ciência e Educação* **2001**, *7*, 249. [CrossRef]
- Batista, B. M.; Vasconcellos, O. S.; Passos, C. G.; Pazinato, M. S.; Teaching and learning Organic Chemistry in the view of High School teachers. *Research, Society and Development* **2020**, *9*, e623974544. [CrossRef]
- Marcondes, M. E. R.; Souza, F. L.; Akahoshi, L. H.; Silva, M. A.; *Química Orgânica: Reflexões e Propostas para o seu ensino*. São Paulo: Centro Paula Souza-Cetec/MEC, 2014. [Link]
- Brasil. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular: Educação é a base*. Brasília, DF: MEC, 2018. Disponível em: <[http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC\\_EI\\_EF\\_110518\\_-versaofinal\\_site.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_-versaofinal_site.pdf)>. Acesso em 9 fevereiro 2020.
- Ferreira, L. H.; Hartwig, D. R.; Oliveira, R. C.; Ensino experimental de química: uma abordagem investigativa contextualizada. *Química Nova na Escola* **2010**, *32*, 101. [Link]
- Lima, J. F. L.; Pina, M. S. L.; Barbosa, R. M. N.; Jófili, Z. M. S.; Contextualização no ensino de Cinética Química. *Química Nova na Escola* **2000**, *11*. [Link]
- Zompero, A. F.; Laburú, C. E.; Vilaça, T.; Instrumento analítico para avaliar habilidades cognitivas dos estudantes da educação básica nas atividades de investigação. *Investigações em Ensino de Ciências* **2019**, *24*, 200. [CrossRef]
- Suart, R. C.; Marcondes, M. E. R.; A manifestação de habilidades cognitivas em atividades experimentais investigativas no Ensino Médio de química. *Revista Ciências e Cognição* **2009**, *14*, 50. [Link]
- Suart, R. C.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade de São Paulo, 2008. [Link]
- Gondim, M. S. C.; Mól, G. S.; *VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, Florianópolis, Brasil, 2007. [Link]
- De Jong, O.; Los experimentos que plantean problemas en las aulas de química: dilemas y soluciones. *Enseñanza de las Ciencias* **1998**, *16*, 305. [Link]
- Souza, F. L.; Akahoshi, L. H.; Marcondes, M. E. R.; Carmo, M. P.; *Atividades experimentais investigativas no ensino de química*, 1a. ed., EDUSP: São Paulo, 2013. [Link]
- Spronken-Smith, R.; Angelo, T.; Matthews, H.; O’Steen, B.; Robertson, J.; *An International Colloquium on International Policies and Practices for Academic Enquiry*, Winchester, United Kingdom, 2007. [Link]
- Borges, A. T.; Novos Rumos para o Laboratório Escolar de Ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **2002**, *19*, 291. [CrossRef]
- Freire, M. M.; *Tese de Doutorado*, Universidade Estadual de Campinas, 2017. [Link]
- Oliveira, J. R. S.; Contribuições e abordagens das atividades experimentais no Ensino de Ciências: reunindo elementos para a prática docente. *Acta Scientiae* **2010**, *12*, 139. [Link]
- Lee, V. S.; Greene, D. B.; Odum, J.; Schechter, E.; Slatta, R. W.; *Em Teaching and Learning Through Inquiry: A Guidebook for Institutions and Instructors*; Lee, V. S. ed.; Stylus Publishing: Viriginia, 2004, parte I.
- Zoller, U.; Are lecture and learning: are they compatible? Maybe for LOCS; unlikely for HOCS. *Journal of Chemical Education* **1993**, *70*, 195. [CrossRef]
- Suart, R. C.; Marcondes, M. E. R.; As habilidades cognitivas manifestadas por alunos do Ensino Médio de química em uma atividade experimental investigativa. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* **2008**, *8*, 2. [Link]
- Kraisig, A. R.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Santa Maria, 2016. [Link]
- Isenmann, A. F.; *Corantes*, 2a. ed., Editora Timóteo: Minas Gerais, 2014.
- Gouveia-Matos, J. A. M.; Mudanças nas cores dos extratos de flores e do repolho roxo. *Química Nova na Escola* **1999**, *10*. [Link]
- Martins, G. B. C.; Sucupira, R. R.; Suarez, P. A. Z.; A Química e as cores. *Revista Virtual de Química* **2015**, *7*, 1508. [CrossRef]
- Frenzel Jr, L. E.; *Fundamentos de Comunicação Eletrônica: Modulação, Demodulação e Recepção*, 3a ed., AMGH: Porto Alegre, 2013.
- München, S.; Adaime, M. B.; Perazolli, L. A.; Amantéa, B. E.; Zaghete, M. A.; Jeans: a relação entre aspectos científicos, tecnológicos e sociais para o Ensino de Química. *Química Nova na Escola*, **2015**, *37*, 172. [CrossRef]

26. Zenebon, O.; Pascuet, N. S.; Tiglea, P.; *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*, 4a ed., Instituto Adolfo Lutz: São Paulo, 2008.
27. Trouillas, P.; Sancho-Garcia, J. C.; De Freitas, V.; Gierschner, J.; Otyepka, M.; Dangles, O.; Stabilizing and modulating color by copigmentation: insights from theory and experiment. *Chemical reviews* **2016**, *116*, 4937. [[CrossRef](#)]
28. Yoshida, K.; Mori, M.; Kondo, T.; Blue flower color development by anthocyanins: from chemical structure to cell physiology. *Natural Product Reports* **2009**, *26*, 884. [[CrossRef](#)]
29. Pina, F.; Melo, M. J.; Laia, C. A.; Parola, A. J.; Lima, J. C.; Chemistry and applications of flavylum compounds: a handful of colours. *Chemical Society Reviews*, **2012**, *41*, 869. [[CrossRef](#)]
30. Março, P. H.; Poppi, R. J.; Scarminio, I. S.; Procedimentos analíticos para identificação de antocianinas presentes em extratos naturais. *Química Nova* **2008**, *31*, 1218. [[CrossRef](#)]
31. Terci, D. B. L.; Rossi, A. V.; Indicadores naturais de pH: usar papel ou solução? *Química nova* **2002**, *25*, 684. [[CrossRef](#)]
32. Araújo, J. M. A.; *Química dos alimentos: teoria e prática*, 7a. ed., UFV: Viçosa, 1995.
33. Quina, F. H.; Bastos, E. L.; Chemistry inspired by the colors of fruits, flowers and wine. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* **2018**, *90*, 681. [[CrossRef](#)]
34. Bordignon Jr, C. L.; Francescato, V.; Nienow A. A.; Calvete E.; Reginatto F. H.; Influência do pH da solução extrativa no teor de antocianinas em frutos de morango. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* **2009**, *29*, 183. [[CrossRef](#)]
35. Villiers, A.; Cabooter, D.; Lynen, F.; Desmet, G.; Sandra, P.; High performance liquid chromatography analysis of wine anthocyanins revisited: Effect of particle size and temperature. *Journal of Chromatography A* **2009**, *1216*, 3270. [[CrossRef](#)]
36. Okumura, F.; Soares, M. H. F. B.; Cavalheiro, E. T. G.; Identificação de pigmentos naturais de espécies vegetais utilizando-se cromatografia em papel. *Química Nova* **2002**, *25*, 680. [[CrossRef](#)]
37. Rosa, E. A. Da; Scheleder, M. Z.; Pinhão, Quirera e Tapioca: das prateleiras para as bancadas dos laboratórios de Química. *Química Nova na Escola* **2016**, *38*, 383. [[CrossRef](#)]
38. Fonseca, S. F.; Gonçalves, C. C. S. Extração dos pigmentos do espinafre e separação em coluna de açúcar comercial. *Química Nova na Escola* **2004**, *20*. [[Link](#)]
39. Collins, C. H.; Braga, G. L.; Bonato, P. S.; *Fundamentos de cromatografia*, 1a. ed., UNICAMP: Campinas 2006.
40. Bruice, P. Y.; *Química orgânica*, 4a. ed., Pearson Prentice Hall: São Paulo, 2006.
41. Vollhardt, P.; Schore, N. E.; *Química orgânica: estrutura e função*, 6a. ed., Bookman: Porto Alegre, 2013.