

USO DOS DIAGRAMAS DE *RICH-SUTER* COMO FERRAMENTA DIDÁTICA PARA DISTRIBUIÇÃO ELETRÔNICA DOS ELEMENTOS QUÍMICOS DO BLOCO D DA TABELA PERIÓDICA

¹WALYSSON GOMES PEREIRA, ²FRANCISCA MAYARA,
³RICARDO DOUGLAS

¹Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), ²Universidade Federal do Ceará (UFC),
³Universidade Estadual do Ceará (UECE)

<walysson.pereira@ifce.edu.br>, <mayshs@gmail.com>, <ricardo.douglas@uece.br>

DOI: 10.21439/conexoes.v19.3787

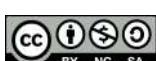
Resumo. Os diagramas de *Rich-Suter* compreendem um conjunto de gráficos que permitem a correta distribuição eletrônica dos elementos químicos ao considerar a não degenerescência energética dos elétrons que ocupam um mesmo orbital. Contudo, apesar de denotar uma estratégia simples de introdução de conceitos complexos da mecânica quântica, há uma considerável ausência de estudos quanto a seu uso como ferramenta pedagógica com a finalidade de obter as corretas configurações eletrônicas dos elementos químicos, principalmente do bloco d, onde o diagrama clássico de *Pauli* falha para certos elementos. Sendo assim, o presente estudo tem por objetivo avaliar a aplicação dos diagramas de *Rich-Suter* em aulas de Química Geral. A intervenção pedagógica foi avaliada a partir da aplicação de Questionários com testes para estudantes de duas turmas de um curso de Licenciatura em Química, na disciplina Química Geral I. Inicialmente, foi aplicado o Questionário I, onde os alunos só dispunham do Diagrama de *Linus Pauling*, para, em seguida, responderem ao Questionário II, contendo testes conceitualmente idênticos, mas disposto em conjunto aos diagramas de *Rich-Suter*. A diferença de acertos quanto aos testes II, III e IV (que correspondem as “exceções” na distribuição eletrônica) entre os Questionários I e II foram mensurados pelo ganho de *Hake*. Observou-se que quando se disponibilizou os diagramas de *Rich-Suter* a porcentagem de acertos foi maior do que para os casos em que a configuração eletrônica não pode ser obtida pelo princípio da construção. Valores de ganho de *Hake* acima de 0,6 foram observados para os testes II, III e IV, o que reforça que a abordagem utilizando os diagramas de *Rich-Suter* resultaram em um alto ganho de aprendizagem, indicando que o uso dos diagramas de *Rich-Suter* é uma ferramenta pedagógica eficaz a ser utilizada por estudantes em disciplinas de química.

Palavras-chave: *Rich-Suter*; ensino de química geral I; princípio da construção; diagrama de *Linus Pauling*.

THE USE OF RICH-SUTER DIAGRAMS AS A DIDACTIC TOOL FOR THE ELECTRONIC DISTRIBUTION OF D-BLOCK ELEMENTS IN THE PERIODIC TABLE

Abstract. Rich-Suter diagrams comprise a set of graphs that allow the correct electronic distribution of chemical elements by considering the non-degeneracy of the electrons occupying the same orbital. However, despite being a simple strategy for introducing complex concepts of quantum mechanics, there is a considerable lack of studies on its use as a teaching tool for obtaining the correct electronic configurations of chemical elements particularly in the d block, where the classical Pauli diagram fails for certain elements. The aim of this study is therefore to evaluate the use of Rich-Suter diagrams in general chemistry classes. The pedagogical intervention was evaluated by administering questionnaires with tests to students from two classes on a Chemistry degree course, in General Chemistry I. Initially, Questionnaire I was administered, in which the students only had the Linus Pauling diagram, and then they answered Questionnaire II, containing conceptually identical tests, but arranged together with the Rich-Suter diagrams. The difference in correct answers to tests II, III and IV (which correspond to the “exceptions” in the electronic distribution) between Questionnaires I and II was measured by Hake’s gain. It was observed that when the Rich-Suter diagrams were made available, the percentage of correct answers was higher than for the cases in which the electronic configuration could not be obtained using the construction principle. Hake gain values above 0.6 were observed for tests II, III and IV, which reinforce that the approach using Rich-Suter diagrams resulted in a high learning gain, indicating that the use of Rich-Suter diagrams is an effective pedagogical tool to be used by students in chemistry subjects.

Keywords: Rich-Suter; teaching teneral chemistry I; construction principle; Linus Pauling diagram.



1 INTRODUÇÃO

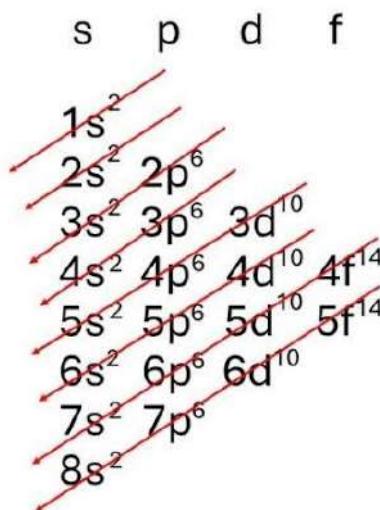
A distribuição eletrônica é uma representação fundamental para entender a estrutura e o comportamento dos átomos, bem como a compreensão da organização da tabela periódica. A distribuição eletrônica indica como os elétrons se dispõem ao redor do núcleo, sendo seu ordenamento energético determinado pelo princípio da exclusão de *Pauli*, o qual estabelece que dois elétrons não podem ocupar o mesmo estado quântico simultaneamente, e pelo princípio de *Aufbau*, que indica a ordem crescente de energia dos orbitais atômicos (Bianco; Meloni, 2019). Durante disciplinas introdutórias de química é necessário que o docente aborde a temática de modo simples, não recorrendo a conceitos complexos da teoria quântica, uma vez que os estudantes nesse estágio não dispõem ainda de conhecimento matemático com a profundidade necessária para compreender em totalidade tais conceitos.

Uma alternativa comumente explorada é aquela proposta por *Madelung*, na qual podemos enfileirar os orbitais que serão ocupados pelos elétrons em ordem crescente de energia, levando em conta a soma do número quântico principal (n) e do número quântico secundário (l) (Kurushkin, 2015). O resultado deste somatório tem sido mais comumente explanado em sala de aula recorrendo a diagramas mnemônicos (Pereira; Nascimento, 2020). Um dos recursos mnemônicos amplamente explorado no ensino de distribuição eletrônica, e que está presente em importantes livros texto de química, é aquele que no Brasil se popularizou como “diagrama de *Linus Pauling*”.

Neste são utilizadas setas para representar os elétrons em cada orbital, conforme o princípio de *Hund*, que estabelece que os elétrons ocupam os orbitais de menor energia possível e com *spins* paralelos, antes de se emparelharem. O ordenamento no diagrama é dado disposto os orbitais em linhas e colunas e, então, os elétrons são distribuídos seguindo uma sequência diagonal (Figura 1) (Hovland, 1986).

Embora o diagrama de *Linus Pauling* seja eficaz na correta distribuição eletrônica de elementos do bloco *s* e *p* em seu estado fundamental, este apresenta limitações quando se trata dos elementos do bloco *d* da tabela periódica. Tais elementos, que incluem os metais de transição, possuem uma configuração eletrônica complexa, com, em muitos casos, o preenchimento de orbitais *d* precedendo o dos orbitais *s*. O diagrama de *Linus Pauling* não consegue representar adequadamente essa peculiaridade, o que pode levar a interpretações equivocadas ou a ausência de aprendizagem correta sobre a distribuição eletrônica dos elementos do bloco *d*.

Figura 1: Diagrama mnemônico (diagrama de *Linus Pauling*) para a realização da distribuição eletrônica dos elementos. A ordem de preenchimento dos elétrons é dada seguindo os arcos diagonais de cima para baixo.

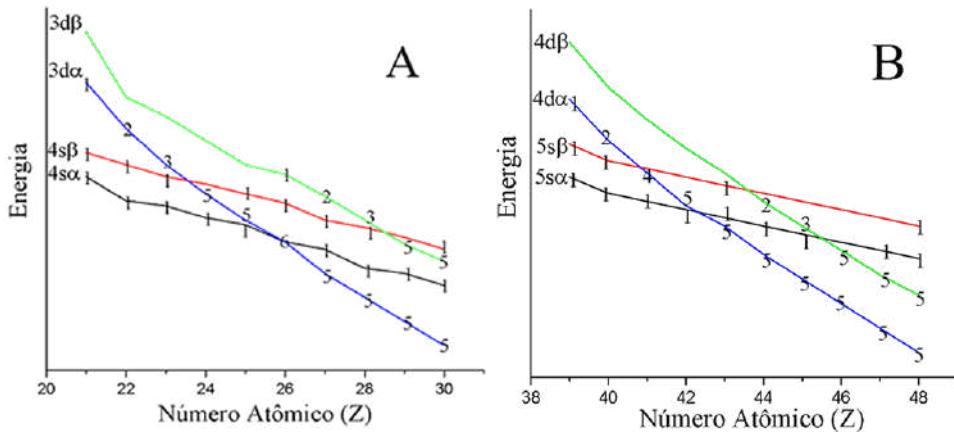


Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Podemos citar como exemplo as distribuições eletrônicas para os elementos do terceiro período da Tabela Periódica: Cr ($Z = 24$) e Cu ($Z = 29$). Utilizando o princípio da construção, são obtidas as configurações eletrônicas: [Ar] $4s^2 3d^4$ e [Ar] $4s^2 3d^9$, respectivamente. Contudo, experimentalmente, sabe-se que as configurações eletrôni-

USO DOS DIAGRAMAS DE *RICH-SUTER* COMO FERRAMENTA DIDÁTICA PARA DISTRIBUIÇÃO ELETRÔNICA DOS ELEMENTOS QUÍMICOS DO BLOCO D DA TABELA PERIÓDICA

Figura 2: Diagramas de *Rich-Suter* para os elementos do bloco d da A) primeira série e B) segunda série de transição.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

cas mais fidedignas para Cr e Cu em seus estados fundamentais são: [Ar] $4s^1 3d^5$ e [Ar] $4s^1 3d^{10}$, respectivamente. Esta contradição é comumente justificada em decorrência de que configurações eletrônicas onde os orbitais *d* encontram-se totalmente semi- ou completamente preenchidos serem energeticamente favoráveis (Kotz; Treichel; Weaver, 2010). Entretanto, não há qualquer suporte experimental que corrobore tal afirmação (Blake, 1981; Duke, 1978; Orofino; MacHado; Faria, 2013; Subramanian; Oliveira, 1997).

Uma alternativa elegante que emerge para contornar aquelas limitações é o uso dos diagramas de *Rich-Suter* (Figura 2). Conforme proposto por Rich e Suter (1988), esses representam uma evolução do diagrama de Linus Pauling e têm como principal diferencial o fato de que cada subcamada pode apresentar dois estados energéticos diferentes (não degenerados) possíveis, designados por α e β . Tal diferença surge a partir das interações repulsivas entre os dois elétrons que se pareiam no mesmo orbital (energia de emparelhamento). Assim, o subnível α representa o subnível de menor energia (que não sofre energia de emparelhamento) enquanto o subnível β representa aquele de maior energia.

Seguindo o princípio de que os elétrons ocupam primeiramente os subníveis de menor energia (para um dado elemento no estado fundamental), as configurações eletrônicas corretas para os elementos do bloco *d* surgem naturalmente com o uso do diagrama de *Rich-Suter*. A saber, quando tomamos o caso do Cr (Figura 2A, $Z = 24$), percebemos que $3d\alpha$ possui energia inferior a $4s\beta$. Tal fato ratifica o porquê dos orbitais *d*, após a distribuição de um elétron em $4s\alpha$, receberem prioritariamente os elétrons, justificando a configuração [Ar] $4s^1 3d^5$. Embora não seja o escopo deste trabalho, é ainda importante ressaltar que as configurações eletrônicas de vários outros elementos de transição, inclusive lantanídeos e actinídeos, podem ser corretamente representados com uso dos diagramas de *Rich-Suter*, exceto alguns poucos casos específicos.

A despeito da sedutora proposta em usar o diagrama de *Rich-Suter* para explicar os “desvios” do diagrama de Linus Pauling, de sua já reportada divulgação em trabalhos acadêmicos na seara do ensino de química (Orofino; MacHado; Faria, 2013) e da relativa popularização que estes diagramas possuem entre professores de química (mais especificamente entre aqueles de química inorgânica), o seu uso em cursos iniciais de química é ainda pouco explorado ou os resultados pedagógicos obtidos a partir da sua utilização em sala de aula não foram satisfatoriamente socializados com a comunidade acadêmica.

Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo divulgar os achados de uma experiência pedagógica com a aplicação dos diagramas de *Rich-Suter* em turmas da disciplina de Química Geral de um curso de licenciatura em química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). Desta feita, o atual trabalho pretende atuar como um estudo de validação para o uso didático dos diagramas de *Rich-Suter* durante disciplinas introdutórias de Química.

USO DOS DIAGRAMAS DE RICH-SUTER COMO FERRAMENTA DIDÁTICA PARA DISTRIBUIÇÃO ELETRÔNICA DOS ELEMENTOS QUÍMICOS DO BLOCO D DA TABELA PERIÓDICA

1.1 Utilizando o diagrama de Rich-Suter

Apesar de trabalhos anteriores, como o original de Rich e Suter (1988) publicado na *Journal of Chemical Education* e o publicado por Orofino e colaboradores (Orofino; MacHado; Faria, 2013) na revista Química Nova, já apresentarem os fundamentos básicos para o uso didático dos diagramas de Rich-Suter, julgou-se pertinente reiterar tais aspectos neste trabalho, apresentando um tópico com instruções de como usar os diagramas de modo a obter as configurações eletrônicas dos elementos do bloco d. Verificou-se a importância de revisitar este aspecto por dois motivos principais:

- I. Tais explanações foram também dadas aos estudantes (na forma de aula expositiva) durante a execução da atividade e, deste modo, o leitor pode se familiarizar com a abordagem metodológica utilizada para introduzir o assunto;
- II. Os trabalhos citados anteriormente esclarecem os aspectos teóricos e práticos para uso dos diagramas de Rich-Suter mas estão em língua inglesa.

Ao realizar a distribuição eletrônica para os elementos da primeira e segunda série de transição, pode-se inicialmente utilizar o diagrama de Linus Pauling até a obtenção da configuração do cerne do gás nobre (Argônio [Ar] e Kriptônio [Kr] para os elementos do bloco d do terceiro e quarto período, respectivamente). A partir desse ponto, a distribuição dos elétrons nos orbitais ns e $(n-1)d$ se dará mais adequadamente com uso dos diagramas de Rich-Suter (Figura 2).

Tomemos como exemplo inicial à distribuição do elemento escândio (Sc , $Z = 21$). Ao observar o diagrama da Figura 2A, percebe-se que o nível de menor energia se refere a $4s\alpha$, ou seja, este é primeiramente ocupado com um elétron. Em seguida, temos o orbital $4s\beta$, que tem energia ligeiramente superior ao subnível $4s\alpha$ devido à energia de emparelhamento, conforme anteriormente já mencionado. Por fim, o último elétron a ser distribuído para o Sc ocupará o orbital $3d\alpha$, e a configuração eletrônica do Sc será $[Ar]4s\alpha^1, 4s\beta^1, 3d\alpha^1$.

Unindo os orbitais $4s$, teremos a configuração eletrônica $[Ar] 4s^2 3d^1$ para o escândio, condizente com o obtido utilizando exclusivamente o diagrama de Linus Pauling. Esta equivalência entre os dois modos de performar a distribuição eletrônica (com uso dos diagramas de Pauling e Rich-Suter) para os elementos da primeira série de transição repete-se para o titânio (Ti , $Z = 22$) e vanádio (V , $Z = 23$).

A partir do elemento Cr ($Z = 24$), observa-se uma inversão dos valores de energia entre os orbitais $4s\beta$ e $3d\alpha$ no diagrama da Figura 2A. Estes ilustram que o valor de energia de todos orbitais s e d diminuem com o aumento do número atômico em um período, o que pode ser explicado pelo aumento da carga nuclear efetiva. Contudo, os elétrons d , que ocupam uma camada mais interna e são mais suscetíveis à atração nuclear, diminuem mais rapidamente, de tal modo que, na primeira série de transição, a partir de $Z = 24$, os elétrons em $3d\alpha$ têm energia menor que $4s\beta$. Assim, a distribuição eletrônica para o Cr seria $[Ar] 4s\alpha^1, 3d\alpha^5$, justificando a aparente “anomalia” em relação ao obtido pelo diagrama de Pauling.

Uma vez que para Mn ($Z = 25$), Fe ($Z = 26$), Co ($Z = 27$) e Ni ($Z = 28$) os níveis $3d\alpha$, $4s\alpha$ e $4s\beta$ serão totalmente preenchidos, os elétrons diferenciais de cada um deles serão adicionados no nível $3d\beta$ (o equivalente à configuração $4s^2 3d^n$, usando o princípio de Aufbau), e não haverá diferença entre a configuração eletrônica obtida pelo diagrama de Linus Pauling ou Rich-Suter. Contudo, para o Cu ($Z = 29$), o nível $3d\beta$ passa a ter energia menor que o $4s\beta$, sendo ocupado prioritariamente, e o Cu tem a configuração eletrônica $[Ar] 3d\alpha^5, 4s\alpha^1, 3d\beta^5$ ou, considerando em conjunto os orbitais d , $[Ar] 4s^1, 3d^{10}$. Assim, pode-se chegar à configuração eletrônica correta para todos os metais da primeira série de transição sem a necessidade de se recorrer a argumentos de “semipreenchimento total” ou “preenchimento total”.

Um caso interessante a se considerar é o do elemento paládio (Pd , $Z = 46$). Para este metal, sabe-se experimentalmente que a configuração eletrônica é $[Kr] 4d^{10}$, estando o orbital $5s$ desocupado no estado fundamental do elemento. Tal configuração pode ser obtida muito facilmente considerando o diagrama de Rich-Suter, uma vez que a análise do diagrama indica que os subníveis $4d\alpha$ e $4d\beta$ possuem energia inferior a $5s\alpha$ e $5s\beta$. Logo, Pd passa a ter a configuração $[Kr] 4d\alpha^5, 4d\beta^5$, conforme o sugerido experimentalmente.

Deste modo, fica destacada a importância deste tema em uma disciplina de Química Geral I, que possui caráter introdutório e na qual são abordados conceitos fundamentais como: estrutura atômica, tabela periódica, ligações químicas, forças intermoleculares, reações químicas e estequiometria das reações etc. Sendo uma disciplina com abordagem basilar, muitos estudantes apresentam grandes dificuldades de aprendizagem dos conceitos, o que pode

USO DOS DIAGRAMAS DE *RICH-SUTER* COMO FERRAMENTA DIDÁTICA PARA DISTRIBUIÇÃO ELETRÔNICA DOS ELEMENTOS QUÍMICOS DO BLOCO D DA TABELA PERIÓDICA

ser atribuído a múltiplos fatores, destacando-se a pouca adaptação inicial à linguagem e posturas acadêmicas e/ou pouca afinidade com a ciência química, uma vez que a escolha que alguns estudantes fazem pelo curso se dá pela baixa nota de corte no ENEM e não por afinidade com o campo de estudo (Livramento *et al.*, 2018). Deste modo, em geral, a taxa de retenção na disciplina é considerável, necessitando assim de certa atenção e novas experimentações metodológicas por parte do professor.

2 METODOLOGIA

No presente trabalho foi realizada uma intervenção pedagógica, caracterizada dentro da pesquisa aplicada, na qual, define Damiani e colaboradores (Damiani *et al.*, 2013) como “*investigações que envolvem o planejamento e a implementação de interferências (mudanças, inovações) destinadas a produzir avanços, melhorias, nos processos de aprendizagem dos sujeitos que delas participam e a posterior avaliação dos efeitos dessas interferências*”.

Adicionalmente, como os resultados serão mensurados com base nos acertos e erros dos estudantes à aplicação do questionário (I e II) e aos testes específicos contidos nestes questionários, este estudo também pode ser inserido dentro do campo da pesquisa quantitativa (Gatti, 2004), pois são avaliadas as porcentagens de erros e acertos.

A intervenção pedagógica ocorreu durante o semestre letivo 2019.1, durante a disciplina de Química Geral I. Os estudantes envolvidos estiveram de acordo com a participação no estudo e assinaram termo de esclarecimento e livre consentimento. Ademais, foi garantido o anonimato destes durante a divulgação dos resultados.

2.1 Amostragem

A amostragem do presente estudo consistiu em duas turmas da disciplina Química Geral I, turno noturno, do curso de Licenciatura em Química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) campus Iguatu.

O perfil das duas turmas em que a intervenção pedagógica aqui proposta foi aplicada se caracterizavam como: uma turma de recém ingressos, com 20 alunos, e uma outra turma de alunos veteranos retidos no semestre anterior, com 14 alunos. Sabido que essa turma de 14 alunos veteranos já se encontrava em situação de retenção por apresentar dificuldades de aprendizagem quanto ao conteúdo da disciplina, preferiu-se aqui tratar os dados das duas turmas separadamente para se evitar conclusões errôneas.

2.2 Organização das atividades

A intervenção pedagógica sobre a temática “distribuição eletrônica dos elementos químicos” se deu para cada turma durante 4 aulas, tendo cada aula duração de 50 minutos. A intervenção iniciou-se na primeira aula a qual foi introduzida de maneira expositiva a temática da energia dos orbitais, as regras de *Madelung* e finalmente o diagrama de *Linus Pauling*. Os estudantes foram ensinados a como fazer a distribuição eletrônica para átomos e íons, bem como correlacionar as configurações eletrônicas dos elementos com sua localização na tabela periódica. É importante ressaltar que em aulas anteriores já havia sido abordada a temática da estrutura atômica e dos números quânticos como consequência da equação de Schrödinger. Na segunda aula os estudantes resolveram uma lista de exercício de fixação do conteúdo, sendo permitido que estes se organizassem em grupos de dois ou três alunos para debaterem o assunto e assim maturarem seu conhecimento sobre o tema, havendo sempre a supervisão do professor para sanar possíveis dúvidas existentes, além de auxiliar no andamento da atividade.

Na terceira aula o professor discutiu de maneira expositiva os casos em que o algoritmo de distribuição eletrônica falhava, fazendo uma exposição da justificativa do total semipreenchimento ou completo preenchimento dos orbitais *d*. Contudo, reiterou-se que a configuração eletrônica de muitos elementos, como o Ru, indica que tal premissa não é satisfatória. Foi então introduzido o uso dos diagramas de *Rich-Suter*, explicitando a sua fundamentação teórica e apresentando os algoritmos para a sua utilização na obtenção da configuração eletrônica dos elementos do bloco *d*.

Finalmente, na quarta aula, foram aplicados os questionários de avaliação da atividade (Figura 3), onde no Questionário I (Figura 3A) os estudantes tiveram até 25 minutos para realizarem cinco testes conceituais que consistiam na distribuição eletrônica de elementos químicos do bloco *d*. Para tal dispuseram apenas do diagrama de *Linus Pauling*, sendo reforçado pelo professor que se atentassem para relação de total semi- ou completo preenchimento dos orbitais *d*, pois poderia haver “exceções” as regras triviais de distribuição eletrônica. Após concluída esta etapa, os estudantes receberam o Questionário II (Figura 3B) onde deveriam resolver outros cinco testes

USO DOS DIAGRAMAS DE RICH-SUTER COMO FERRAMENTA DIDÁTICA PARA DISTRIBUIÇÃO ELETRÔNICA DOS ELEMENTOS QUÍMICOS DO BLOCO D DA TABELA PERIÓDICA

Figura 3: Questionários aplicados as turmas. No Questionário I (A) os estudantes dispuseram apenas do diagrama de *Linus Pauling* para efetuar a resolução dos testes. No Questionário II (B) os estudantes dispuseram dos diagramas de *Rich-Suter* para a resolução dos testes.

A QUESTIONÁRIO I

Pede-se a distribuição eletrônica dos 5 elementos químicos a seguir, utilizando a notação do cerne do gás nobre.

- I. Fe ($Z = 26$)
- II. Cr ($Z = 24$)
- III. Ag ($Z = 47$)
- IV. Rh ($Z = 45$)
- V. Zr ($Z = 40$)

B QUESTIONÁRIO II

Pede-se a distribuição eletrônica dos 5 elementos químicos a seguir, utilizando a notação do cerne do gás nobre.

- I. Ni ($Z = 28$)
- II. Cu ($Z = 29$)
- III. Mo ($Z = 42$)
- IV. Pd ($Z = 46$)
- V. Ru ($Z = 44$)

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

conceituais indicando a configuração eletrônica de outros 5 elementos do bloco d, mas agora com auxílio dos diagramas de *Rich-Suter*. De maneira análoga, os estudantes dispuseram de 25 minutos para concluir a segunda parte da atividade.

2.3 Tratamento dos dados

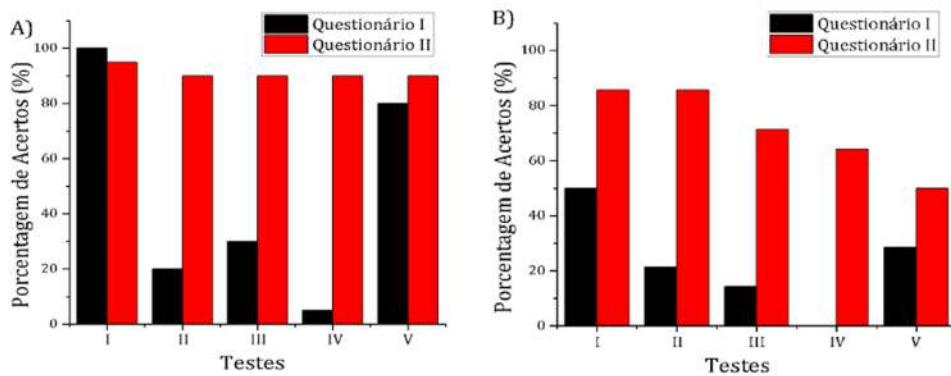
Após aplicação dos questionários, cada teste conceitual foi avaliado segundo o critério “certo” ou “errado”, de modo que “certo” foi atribuído a obtenção da configuração eletrônica totalmente em acordo com aquela para o elemento em questão. Calculou-se então a porcentagem de acerto exibido para cada estudante e os dados foram graficados usando o software *Origin Pro 2016*. Os dados das duas turmas foram tratados em separado visto as características particulares de cada uma delas.

Para os testes conceituais II, III e IV dos questionários foi estimado o ganho de Hake (Hake, 1998), que pode ser calculado segundo a equação 1.

$$g = \frac{\%_{\text{pós}} - \%_{\text{pré}}}{100\% - \%_{\text{pré}}} \quad (1)$$

USO DOS DIAGRAMAS DE RICH-SUTER COMO FERRAMENTA DIDÁTICA PARA DISTRIBUIÇÃO ELETRÔNICA DOS ELEMENTOS QUÍMICOS DO BLOCO D DA TABELA PERIÓDICA

Figura 4: Porcentagem de acerto para os estudantes da turma A (A) e turma B (B) quanto as respostas aos testes aplicados nos Questionários I (barra preta) e II (barra vermelha).



Fonte: Os autores.

Onde g representa o ganho de *Hake*, %pós é percentual de acertos no pós-teste (neste trabalho equivalente aos testes do Questionário II, aplicado com a disponibilização dos diagramas de *Rich-Suter*) e %pré é o percentual de acertos no pré-teste (correspondendo aos testes do Questionário I, onde os estudantes dispunham apenas do diagrama de *Linus Pauling*).

A despeito do ganho de *Hake* ser uma ferramenta avaliativa mais utilizada na validação do uso de alguns tipos de metodologias ativas de aprendizagem, como a instrução por pares (Pereira; Nascimento; Nascimento, 2021) ou sala de aula invertida (Kelly *et al.*, 2023), este foi utilizado no presente estudo para obter *insights* a respeito da melhoria do desempenho dos estudantes ao utilizarem os diagramas de *Rich-Suter* para efetuarem a distribuição dos elementos do bloco d em questão. Neste sentido, apenas os testes II, III e IV dos questionários foram utilizados para estimar o ganho de *Hake* pois trata-se dos testes com elementos cujas configurações eletrônicas corretas seguem as ditas “exceções” ao princípio da construção. Assim, buscou-se uma ferramenta que permitisse obter estimativas quantitativas sobre como o uso dos diagramas de *Rich-Suter* podem incrementar as habilidades dos estudantes em expressarem as configurações eletrônicas desses elementos corretamente.

3 RESULTADOS

A Figura 4 ilustra a porcentagem de acerto dos estudantes das turmas A (Fig. 4A) e B (Fig. 4B) após a resolução dos testes presentes no Questionário I (barras pretas) e II (barras vermelhas). O teste I do Questionário I solicitava que os estudantes realizassem a distribuição eletrônica do elemento Ferro (Fe , $Z = 26$), enquanto no Questionário II foi solicitada a configuração eletrônica para o Níquel (Ni , $Z=28$). Na turma A todos os estudantes obtiveram a configuração eletrônica correta para o elemento Fe, enquanto 95% obtiveram êxito para a configuração eletrônica do Ni. Este achado indica que os estudantes desta turma dominaram bem os procedimentos para a distribuição eletrônica dos elementos com o uso do diagrama de *Linus Pauling*, bem como com o uso do digrama de *Rich-Suter*, uma vez que apenas um estudante da turma não realizou corretamente a distribuição do Ni.

Por outro lado, na turma B, apenas 50% dos estudantes realizaram corretamente a configuração eletrônica do Fe, revelando que parte significativa da turma apresentou dificuldades em usar o diagrama de *Linus Pauling* para a distribuição eletrônica, ainda que este seja um assunto abordado desde a educação básica. Curiosamente, 85,7% dos estudantes efetuaram corretamente a configuração eletrônica do elemento Ni. Este resultado é surpreendente pois esperávamos que os estudantes pudessesem de fato aumentar sua porcentagem de acerto para a distribuição eletrônica de elementos com uso do diagrama de *Rich-Suter* para os casos em que o simples uso do diagrama de *Pauling* (sem os argumentos de semi- ou total preenchimento dos orbitais d) não permitissesem chegar à configuração eletrônica correta dos elementos. Contudo, o teste I do Questionário B não se enquadra neste caso específico. A partir de tal resultado conjecturamos que os diagramas de *Rich-Suter* possuem um sistema gráfico que pode ser bem compreendido pelos estudantes da disciplina, até mesmo os que possuem maior dificuldade em assimilar os diagramas mnemônicos mais usuais.

USO DOS DIAGRAMAS DE RICH-SUTER COMO FERRAMENTA DIDÁTICA PARA DISTRIBUIÇÃO ELETRÔNICA DOS ELEMENTOS QUÍMICOS DO BLOCO D DA TABELA PERIÓDICA

Os testes II, III e IV do Questionário I solicitavam a configuração eletrônica dos elementos Cromo (Cr , $Z = 24$), Prata (Ag , $Z = 47$) e Ródio (Rh , $Z = 45$), respectivamente. Estes elementos se caracterizam como metais do bloco d no qual o simples uso do diagrama de *Linus Pauling* não conduz a configuração eletrônica correta. Na turma A apenas 20% dos estudantes obtiveram êxito no teste II do Questionário I, similar aos 24% da turma B, indicando que apenas uma pequena parte dos estudantes conseguiram utilizar os argumentos de semi ou total preenchimento dos orbitais d em conjunto com o diagrama de *Linus Pauling* para obtenção da configuração eletrônica do Cr. Esta suposição é corroborada por resultados similares quando avaliadas as respostas para o teste III do Questionário I, onde apenas 30% e 14,3% dos estudantes das turmas A e B, respectivamente, obtiveram êxito. Porcentagem de acertos ainda menores foram observadas quando avaliadas as respostas para o teste IV do Questionário I, onde foi solicitada a configuração eletrônica do Rh. Para este teste apenas 5% (o equivalente a um único estudante) dos alunos da turma A realizaram a configuração eletrônica corretamente, enquanto nenhum aluno da turma B obteve êxito. A dificuldade adicional para este teste está provavelmente associada ao fato de que nem mesmo com argumentos de semi- ou total preenchimento dos orbitais d é possível justificar a configuração eletrônica do Rh.

Por outro lado, quando se avalia as respostas dos estudantes para os testes II, III e IV do Questionário II, as quais correspondem a distribuição eletrônica dos elementos Cobre (Cu , $Z = 29$), Molibdênio (Mo , $Z = 42$) e Paládio (Pd , $Z = 46$), respectivamente, observa-se um incremento na porcentagem de resoluções corretas. Para o teste II, por exemplo, a taxa de acerto foi de 90% para a turma A e de 85,7% para a turma B. No teste III 90% dos estudantes da turma A responderam corretamente, enquanto na turma B a taxa de acerto foi de 71,4%. De maneira análoga, no teste IV, 90% dos estudantes da turma A responderam corretamente, enquanto na turma B 64,3% obtiveram êxito na correta distribuição eletrônica. Percebe-se que para a turma A as respostas aos testes II, III e IV mantiveram-se sempre no valor de 90% de acerto, o que indica que os estudantes da turma assimilaram bem os algoritmos para utilização dos diagramas *Rich-Suter* para a distribuição eletrônica dos elementos “anômalos” do bloco d. A turma B apresentou taxas de acerto mais irregulares e inferiores que a turma A. Contudo, ainda assim, as porcentagens de acerto para a configuração eletrônica dos elementos ao se dispor dos diagramas de *Rich-Suter* foram superiores àquelas onde os diagramas não se encontravam disponíveis, indicando êxito na metodologia proposta.

O incremento de rendimento quando comparados os testes II, III e IV dos Questionários I e II foi estimada pelo ganho de *Hake* (g). Ressaltamos que julgamos coerente a comparação entre estes três testes em específico pois tratam de elementos do bloco d cuja configurações eletrônicas não obedecem a aquelas obtidas pelo diagrama de *Pauling*. Deste modo, possuem abordagens conceituais idênticas, ainda que cada questionário possua testes com elementos químicos distintos. A Tabela 1 resume os valores percentuais de ganho de *Hake* nos três testes nas turmas A e B. Para a turma A os valores de ganho de *Hake* nos testes II, III e IV foram de 0,875, 0,857 e 0,895, respectivamente. Estes valores correspondem a um ganho de *Hake* muito alto, reforçando que o uso dos diagramas de *Rich-Suter* corresponde a uma ferramenta de grande sucesso para a representação eletrônica dos elementos do bloco d. Para a turma B valores de ganho de *Hake* também foram altos, ($g = 0,818, 0,666$ e $0,643$ para os testes II, III e IV, respectivamente) embora menores quando comparados a turma A. Como mencionado anteriormente, a turma B comprehende estudantes retidos e que possuem maiores dificuldades de assimilação dos conteúdos em comparação a turma A, demonstrando assim que o uso dos diagramas de *Rich-Suter* se mostrou uma ferramenta bastante satisfatória nos resultados obtidos quanto a distribuição eletrônica dos metais do bloco d para esta turma B também.

Finalmente, o teste V no Questionário I foi referente a configuração eletrônica do metal Zircônio (Zr , $Z = 40$), que pode ser obtida corretamente a partir do uso trivial do diagrama de *Linus Pauling*. Em contrapartida o teste V no Questionário II foi referente a configuração eletrônica do elemento Rutênio (Ru , $Z = 44$), que só pode ser obtida mais propriamente com o uso do diagrama de *Rich-Suter*. Quando aplicados na turma A, a porcentagem de acerto observada para o teste V do Questionário I foi de 80%, enquanto para aquele do Questionário II foi de 90%. Este resultado é interessante pois é esperado que a porcentagem de acerto fosse maior no Questionário I em casos em que a configuração eletrônica possa ser obtida diretamente pelo diagrama de *Pauling* (assim como observado no teste I da turma A), ao contrário do observado. Assim, é ratificado que os estudantes se familiarizaram rapidamente com o uso dos diagramas de *Rich-Suter*. Na turma B as taxas de acerto para o teste V foram de 28,6% no Questionário I e de 50% no Questionário II, obtendo quase o dobro de acertos, o que reforça o que já foi discutido anteriormente para a turma anterior.

USO DOS DIAGRAMAS DE *RICH-SUTER* COMO FERRAMENTA DIDÁTICA PARA DISTRIBUIÇÃO ELETRÔNICA DOS ELEMENTOS QUÍMICOS DO BLOCO D DA TABELA PERIÓDICA

Quadro 1: Valores de ganho de *Hake* (*g*) calculado para os testes II, III e IV dos questionários I e II aplicados às turmas A e B.

Turma	Teste	Ganho de <i>Hake</i> (<i>g</i>)
A	II	0,875
	III	0,857
	IV	0,895
B	II	0,818
	III	0,666
	IV	0,643

Fonte: Os autores (2025).

4 CONCLUSÃO

O uso dos diagramas de *Rich-Suter* em cursos iniciais de Química emerge como uma abordagem conceitualmente mais correta na obtenção da configuração eletrônica dos elementos químicos, em especial para os metais de transição do bloco *d* da tabela periódica, auxiliando na compreensão e entendimento, principalmente nos casos especiais. Neste trabalho observamos que estudantes da disciplina de Química Geral I assimilaram os conceitos teóricos, bem como os mecanismos práticos de aplicação dos diagramas de *Rich-Suter* de uma maneira rápida e eficaz, apresentando melhoria em seu aprendizado, o que pode ser observado pelos resultados obtidos após a aplicação da metodologia proposta, na qual os percentuais de acertos das questões propostas foram incrementados com uso dos diagramas. Por fim, incentivamos que demais docentes possam fazer uso dos diagramas de *Rich-Suter* em aulas de Química de modo a ratificar ou retificar nossos resultados preliminares aqui divulgados.

REFERÊNCIAS

- BIANCO, A. A. G.; MELONI, R. A. O conhecimento escolar: um estudo do tema diagrama de Linus Pauling em livros didáticos de química – 1960/1970. **Química Nova Na Escola**, v. 41, p. 148–155, 2019.
- BLAKE, A. B. Exchange stabilization and the variation of ionization energy in the pn and dn series. **Journal of Chemical Education**, v. 58, n. 5, p. 393–398, 1981. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ed058p393>.
- DAMIANI, M. F.; ROCHEFORT, R. S.; CASTRO, R. F. d.; DARIZ, M. R.; PINHEIRO, S. S. Pesquisas do tipo intervenção pedagógica. **Cadernos de Educação Faculdade de Educação**, v. 45, n. 0, p. 57–67, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.15210/CADUC.V0I45.3822>.
- DUKE, B. J. **Education in chemistry**. United Kingdom: Royal Society of Chemistry, 1978. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=RRIFAQAAIAAJ>.
- GATTI, B. A. Estudos quantitativos em educação. **Educação e Pesquisa**, v. 30, n. 1, p. 11–30, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1517-97022004000100002>.
- HAKE, R. R. Interactive-engagement versus traditional methods: a six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. **American Journal of Physics**, v. 66, n. 1, p. 64–74, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1119/1.18809>.
- HOVLAND, A. K. Aufbau on a chessboard. **Journal of Chemical Education**, v. 63, n. 7, p. 607, 1986. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ed063p607>.
- KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. M.; WEAVER, G. C. **Química geral e reações químicas**. 1. ed. Boston, Massachusetts: CENGAGE, 2010.
- KURUSHKIN, M. Teaching atomic structure: Madelung's and Hund's rules in one chart. **Journal of Chemical Education**, v. 92, n. 6, p. 1127–1129, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ed5009409>.
- LIVRAMENTO, P. C. C. d. *et al.* Enem: dificuldades e abordagens no ensino de química. In: **Anais V CONEDU**. Campina Grande: Realize Editora, 2018. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/47225>.
- OROFINO, H.; MACHADO, S. P.; FARIA, R. B. The use of rich and suter diagrams to explain the electron configurations of transition elements. **Química Nova**, v. 36, n. 6, p. 894–896, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000600027>.
- PEREIRA, W. G.; NASCIMENTO, R. J. M.; NASCIMENTO, T. L. d. Uso da metodologia ativa instrução por pares assistida pelo aplicativo plickers: uma experiência no ensino de química. **Conexões: Ciência e Tecnologia**, v. 15, p. e021018, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.21439/conexoes.v15i0.2078>.
- PEREIRA, W. G.; NASCIMENTO, T. L. d. Apresentação de metodologias alternativas para o ensino da distribuição eletrônica no átomo. In: **Série Educar- Volume 7 – Metodologias e Ferramentas**. Porto Velho: Editora Poisson, 2020. p. 105–113. Disponível em: <https://doi.org/10.36229/978-85-7042-226-2.CAP.14>.
- RICH, R. L.; SUTER, R. W. Periodicity and some graphical insights on the tendency toward empty, half-full, and full subshells. **Journal of Chemical Education**, v. 65, n. 8, p. 702–704, 1988. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ed065p702>.
- SUBRAMANIAN, N.; OLIVEIRA, S. F. d. Algumas considerações sobre a regra de hund e a estrutura eletrônica de átomos no ensino de química. **Química Nova**, v. 20, n. 3, p. 313–318, 1997.