

APRESENTAÇÃO DE METODOLOGIAS ALTERNATIVAS PARA O ENSINO DA DISTRIBUIÇÃO ELETRÔNICA NO ÁTOMO

Walysson Gomes Pereira ¹
Tássio Lessa do Nascimento ²

RESUMO

O ensino ciências em alguns casos, mesmo que o professor trabalhe com estratégias de aproximação do assunto apresentado em sala de aula com o cotidiano do aluno, podem esparrar em conteúdos que forcem o discente a trabalhar com o abstrato e tenham que utilizar técnicas de memorização para que possam obter êxito no processo de ensino-aprendizagem. No ensino médio, uns dos assuntos que possui as características descritas acima é a estrutura atômica, principalmente a distribuição energética dos elétrons no átomo. Isso ocorre devido as leis que elucidam a teoria atômica, que são oriundas da mecânica quântica, na qual utiliza recursos matemáticos complexos. O trabalho mais difundido para memorização e conseqüentemente a distribuição dos elétrons no átomo foi proposto por Madelung (1936), método que ficou conhecido como o diagrama de Linus Pauling. Porém, não existe somente esse estudo como recurso mnemônico, também constam os trabalhos de Grenda (1988), Iza e Gil (1995) e Parsons (1989). O presente trabalho teve a finalidade de apresentar essas três metodologias alternativas para duas turmas de primeiro semestre dos cursos técnicos integrados em Eletroeletrônica e em Petroquímica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, IFCE, *campus* Caucaia, onde todos os alunos já conheciam o digrama de Linus Pauling. Os alunos foram divididos em grupos, onde cada grupo ficou um método alternativo, no final cada participante, individualmente, respondeu um questionário com intuito de quantificar a eficácia do método proposto e seu grau de aceitação quando comparado com o método tradicional.

Palavras-chave: Estrutura Atômica, Distribuição Eletrônica, Linus Pauling.

INTRODUÇÃO

O processo ensino-aprendizagem na área da química segue desafiando pesquisadores e professores em busca de abordagens metodológicas efetivas afim de garantir uma aprendizagem significativa aos estudantes. No século passado, com o avanço dos conhecimentos científicos e o desenvolvimento de novas concepções sobre o ensino de química, a abordagem “tripleto”, na qual a química é concebida como uma ciência em três níveis, macroscópico, microscópico e simbólico, foi amplamente aceita. O grande desafio apresentado ao professor de química nesta perspectiva é o modo como este deve transitar nesta tríade de abordagens de maneira eficiente e interativa (JOHNSTONE, 1993 e 2000).

¹ Professor de Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Instituto Federal do Ceará, IFCE, *Campus* Tabuleiro do Norte - CE, walysson.pereira@ifce.edu.br;

² Professor de Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Instituto Federal do Rio Grande do Norte, IFRN, *campus* Apodi-CE, tassio.lessa@ifrn.edu.br;

Dentro da esfera macroscópica tem-se a abordagem fenomenológica, na qual práticas laboratoriais (GILBERT; TREAGUST, 2009) ou fenômenos cotidianos contextualizados com a teoria química (WARTHA; SILVA; BEJARANO, 2013) são utilizados como motivadores ou como tema geradores para o desenvolver dos conteúdos. A abordagem da contextualização dos assuntos teóricos com o cotidiano é particularmente interessante, pois esta se relaciona com a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), na qual o aprendiz atribui significado aos novos conhecimentos partindo de conceitos já concebidos em suas estruturas cognitivas, os denominados subsunçores (AUSUBEL, 1963 *apud* MIRIAM; COSTA, 2019).

Contudo, dependendo do componente curricular a ser trabalhado, nem sempre é imediato e simples a contextualização dos assuntos teóricos com o cotidiano dos estudantes. No ensino médio o assunto que trata da estrutura atômica e das características energéticas dos elétrons é notoriamente desafiador. A imensa dificuldade surge do fato de que as leis que regem a estrutura atômica serem aquelas da mecânica quântica, a qual utiliza de recursos matemáticos complexos e de conceituação própria e intrincada (BIANCO; MELONI, 2019).

Paulo e Moreira (2011), estudando o problema da linguagem a ser adotada na abordagem quântica, reiteram o grande desafio que a temática apresenta sobre o prisma da TAS, uma vez que os conceitos quânticos totalmente novos e a “estranheza” dos fenômenos associados impossibilitam a ocorrência de esquemas cognitivos eficientes que possam ser subsunçores de uma aprendizagem significativa.

Apesar disso, o tema complexo da energia dos elétrons não pode ser simplesmente ignorado e excluído dos conteúdos programáticos do ensino médio uma vez que ele dá suporte a outros conteúdos importantes em química, como o estudo da Tabela Periódica, Ligações Químicas e Reações de Oxirredução, temas transversais dentro das ciências naturais, com ampla contextualização na vida cotidiana e que propiciam ao estudante do ensino médio o desenvolver de competências e habilidades específicas.

Cientes da importância do tema e da sua inserção nos conteúdos programáticos introdutórios de química e física, diversos teóricos se esforçaram na busca de métodos mais simples de descrever a energia dos elétrons nos átomos, destacando-se neste âmbito o trabalho de Madelung (1936) o qual desenvolveu um método simples no qual a energia dos elétrons é determinada pela soma do número quântico principal (n) e do número quântico secundário (l), que descrevem os orbitais que contém os elétrons.

Devido a sua simplicidade, a regra de Madelung foi rapidamente incorporada em livros didáticos de química, nos quais a soma dos dois números quânticos se tornou implícita e os orbitais são dispostos em um diagrama de ordem crescente de energia, denominado diagrama

de aufbau (BIANCO; MELONI, 2019). No Brasil, o diagrama integra os livros didáticos ainda hoje, embora seja reconhecido pelo nome “Diagrama de Linus Pauling”, em homenagem ao célebre cientista Linus Pauling, que incluiu o diagrama em seu livro *The Nature of the Chemical Bond* (PAULING, 1939 *apud* BIANCO; MELONI, 2019).

Mesmo com a simplificação e generalização dos conceitos quânticos (em um processo similar a uma transposição didática) com o uso do diagrama de Linus Pauling, estudantes recém introduzidos ao universo da química, geralmente no 9º ano do ensino fundamental ou 1º ano do ensino médio, ainda apresentam dificuldades em entender e executar a distribuição eletrônica dos elementos químicos. Neste enfoque durante o século passado alguns trabalhos, como os de Grenda (1988), Iza e Gil (1995) e Parsons (1989) propuseram diagramas de distribuição eletrônica alternativos ao digrama de Linus Pauling que, segundo os autores, podem ser memorizados e utilizados de modo mais simples e rápido pelos estudantes.

O presente trabalho tem por objetivo mostrar o uso destes diagramas de distribuição eletrônica “alternativos”, os aplicando em sala de aula e avaliando a sua eficácia pelo prisma dos estudantes. Essa verificação foi realizada do ponto de vista quantitativo, a partir da análise do número de acertos e erros dos estudantes sob teste, e também qualitativa, indagando os estudantes sobre o que acharam da abordagem com o diagrama de distribuição eletrônica alternativo aqui apresentado.

METODOLOGIA

O presente estudo foi aplicado em duas turmas de primeiro semestre dos cursos técnicos integrados em Eletroeletrônica e em Petroquímica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, IFCE, *campus* Caucaia, durante o semestre letivo 2019.1. Um total de 74 estudantes participaram do estudo, sendo que todos eles já haviam sido apresentados ao conteúdo de distribuição eletrônica, a partir do uso e aplicação do diagrama de Linus Pauling, tendo já inclusive sido realizada avaliação sobre o tema.

Durante a atividade, os estudantes se dividiram em grupos de não mais do que cinco componentes, grupos estes formados de modo livre e, portanto, por afinidades. A estes grupos foram entregues papéis com diferentes diagramas de distribuição eletrônica, perfazendo um total de três tipos de diagramas distintos. sendo que cada grupo tinha em sua posse apenas um tipo de diagrama. Logo o grupo A ficou com o diagrama 1, o B com diagrama 2 e C com o diagrama 3. Os professores aplicadores do estudo tiveram papel mediador, explicando estratégias de como memorizar e utilizar os modelos propostos.

No mesmo documento que continham os diagramas de distribuição eletrônica constavam exercícios de fixação no qual os estudantes realizaram a distribuição de alguns elementos químicos usando o diagrama particular que cada grupo tinha recebido. Após isso foi dado um intervalo de 10 minutos e em seguida foi aplicado um teste individual para cada estudante.

O teste possuía em seu início um quadro onde o estudante deveria escrever o diagrama com qual havia trabalhado. Em seguida, os estudantes deveriam realizar a distribuição eletrônica de cinco elementos químicos apresentados. Por fim, foi solicitado que respondessem de modo objetivo três perguntas qualitativas. A primeira perguntava sobre qual o nível de dificuldade que os estudantes concebiam do conteúdo de distribuição eletrônica, a segunda sobre o nível de dificuldade da memorização e utilização do diagrama alternativo apresentado ao seu grupo e a terceira indagava sobre que diagrama de distribuição eletrônica os estudantes preferiam utilizar, o de Linus Pauling ou aquele a eles apresentados.

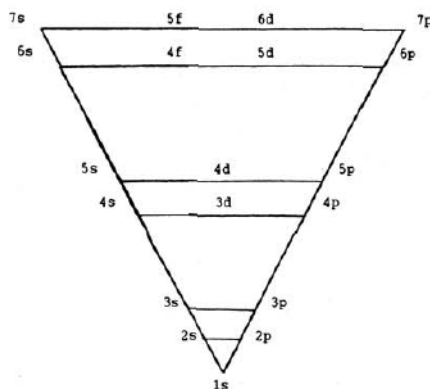
Todas as respostas dos estudantes são apresentadas em termos percentuais, sendo que, para a avaliação dos acertos e erros nos testes, foi considerado como 100% de acerto o número total de alunos que tiveram acesso a um tipo de diagrama em particular multiplicado por cinco, ou seja, pelo número total de questões do teste. Todos os gráficos aqui gerados foram feitos através do uso do software microsoft excel, parte do pacote do Microsoft Office Professional Plus 2013.

DESENVOLVIMENTO

Devido a imensa complexidade teórica dos conceitos quânticos o estudo da distribuição eletrônica tem sido mais direcionado a garantir que os iniciados possam dispor os elétrons em ordem crescente de energia dos orbitais atômicos. Para este objetivo, dispositivos mnemônicos surgem como potencialmente interessantes. Mastropiere e Scruggs (1989) indicam que os mnemônicos podem facilitar com que novos conhecimentos possam ser assimilados utilizando esquemas cognitivos já desenvolvidos.

Grenda (1988) propôs um diagrama de distribuição eletrônica alternativo no qual são desenhados triângulos invertidos (Figura 1). Na lateral esquerda são escritos os orbitais s e na direita os orbitais p. Os orbitais d são escritos a partir da terceira linha de baixo para cima e os orbitais 4f e 5f apenas nas duas últimas. Segue-se então a distribuição eletrônica dos elementos de baixo para cima, da esquerda para a direita. O diagrama proposto por Grenda aqui será chamado de diagrama 1.

Figura 1. Diagrama de distribuição eletrônica proposto por Granda. Diagrama 1



Fonte: GRENDA (1988)

Iza e Gil (1995) propuseram um diagrama mnemônico de distribuição onde os orbitais são escritos de um modo compacto em linha reta, conforme ilustra a Figura 2. Neste os orbitais são unidos em sete grupos separados por vírgulas. Os orbitais do tipo s e p terão o número quântico principal indicado pelo grupo que eles estão inseridos. Por exemplo, um orbital do tipo s no sexto grupo será um orbital 6s e um orbital do tipo p no quarto grupo será um orbital 4p. Os orbitais do tipo d terão o número quântico principal dado pelo número do grupo menos um (n-1), assim um orbital do tipo d no quarto grupo será um orbital 3d. Orbitais do tipo f terão seu número quântico principal dado pelo número do grupo menos dois (n-2). Assim um orbital do tipo f no sétimo grupo, será um orbital 5f. O diagrama proposto por Iza e Gil será denominado neste trabalho de diagrama 2.

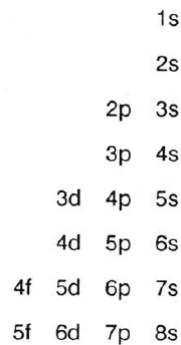
Figura 2. Esquema mnemônico proposto por Iza e Gil. Diagrama 2

s, sp, sp, sdp, sdp, sfdp, sfdp

Fonte: IZA e GIL (1995)

Parsons (1989) propôs um diagrama de distribuição eletrônica similar ao diagrama de Linus Pauling, sendo que a posição e o espaçamento dos orbitais é diferenciado, permitindo a distribuição sem a necessidade do uso de diagonais, apenas escrevendo os orbitais da esquerda para a direita (Figura 3). O diagrama de Parsons é neste trabalho identificado como diagrama 3.

Figura 3. Diagrama de distribuição eletrônica proposto por Parsons. Diagrama 3



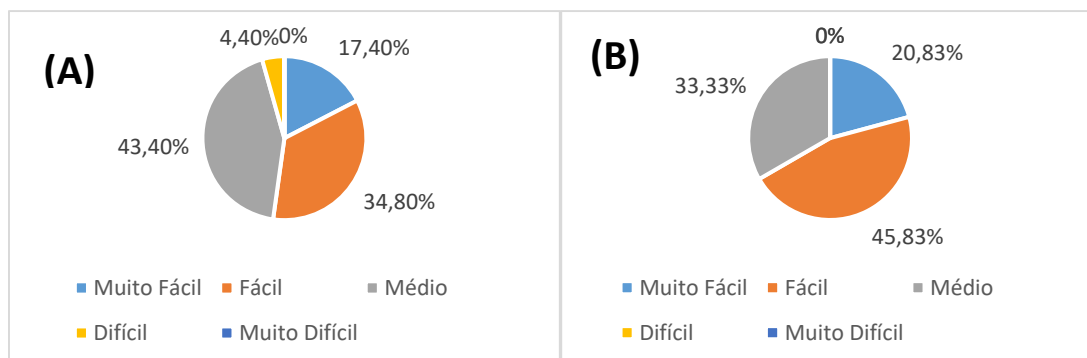
Fonte: PARSONS (1989)

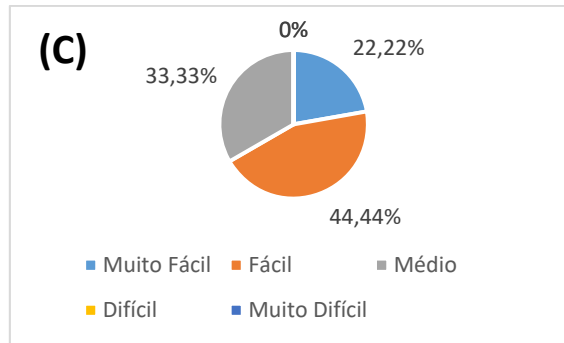
Apesar de propostos como ferramentas para serem usadas em aulas de distribuição eletrônica, inexistem a literatura estudos que avaliem como os estudantes concebem esses diagramas, sendo esse o objetivo do trabalho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi pedido aos estudantes submetidos ao presente estudo que cada um deles indicasse o nível de dificuldade que sentiam com o conteúdo de distribuição eletrônica, gráfico 4. Pode-se observar nesse gráfico que a maioria dos estudantes classificaram o assunto como muito fácil ou mediano, com exceção do grupo 1, onde 4,4% classificam o assunto como difícil. Em todos os grupos se observou uma homogeneidade nas respostas, sendo que o assunto é considerado prioritariamente como fácil ou de dificuldade média. Em nenhum dos grupos tivemos o resultado classificado como muito difícil.

Gráfico 4. Nível de dificuldade do conteúdo de distribuição eletrônica segundo os estudantes: (A) do grupo 1, (B) do grupo 2 e (C) do grupo 3.



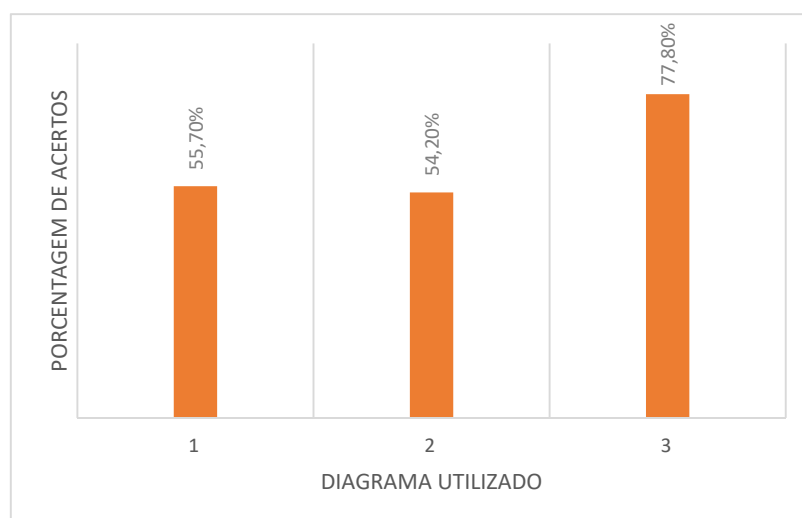


Fonte: Os Autores (2019)

O gráfico 5 indica as porcentagens de acerto dos estudantes nas cinco questões testes a que foram submetidos em função dos diferentes tipos de diagramas aos quais os alunos tiveram acesso. Nota-se que os estudantes que utilizaram o diagrama de distribuição eletrônica 3 (Grupo C) tiveram sucesso consideravelmente maior (77,80% de acerto) no teste quando comparado com os estudantes que utilizaram do diagrama 1 (Grupo A) ou 2 (Grupo B), 55,70% e 54,20% de acerto, consecutivamente.

O fato que justifica esses resultados é a semelhança entre os diagramas de Parsons e Linus Pauling, desse modo os alunos acabam criando uma associação entre ambos. Como o diagrama de Pauling é mais difundido nos livros do Ensino Médio e os alunos desse estudo já tinham tido o contato com ele, possivelmente facilitou o processo de memorização do diagrama 3.

Gráfico 5. Porcentagem de acertos dos estudantes no teste em função do tipo de diagrama utilizado

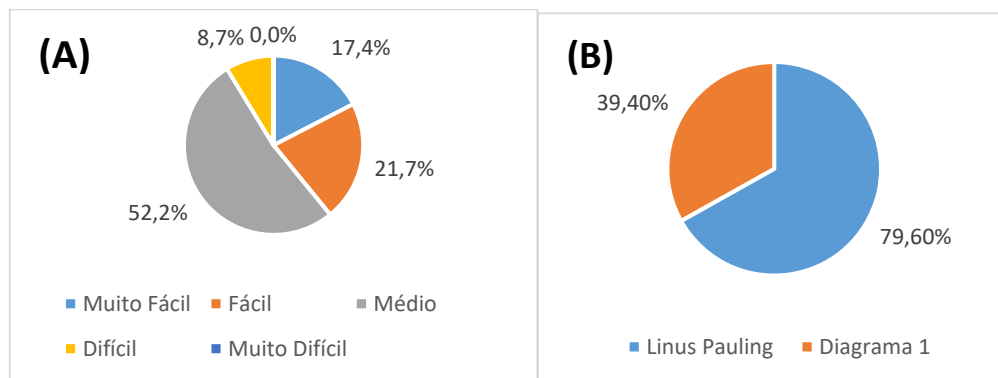


Fonte: Os Autores (2019)

No gráfico 6 tem-se indicado o grau de dificuldade de memorização que os estudantes encontraram para o diagrama 1 (Gráfico 6A). Pode-se afirmar que, de um modo geral, os estudantes não mostraram grande dificuldade na memorização do diagrama 1, contudo o número de acertos no teste (55,70%) indica que muitos, uma vez assimilado o diagrama, não souberam como o utilizar de modo adequado.

Foi notado que alguns estudantes fizeram a distribuição de modo diagonal, confundindo a maneira de usar o diagrama 1 com o do diagrama de Linus Pauling, abordado anteriormente em sala e aula. Quando indagados se preferiam utilizar o diagrama 1 ou o diagrama de Linus Pauling foi observada uma forte rejeição ao uso do diagrama 1, sendo que 79,60% preferem utilizar o diagrama de Linus Pauling (Gráfico 6B). É provável que o modo geométrizado como é apresentado o diagrama 1 dê uma impressão de complexidade que assuste os estudantes a primeira observação. Este formato acaba gerando uma associação com a geometria.

Gráfico 6. (A) Nível de dificuldade estimado pelos estudantes na assimilação do diagrama 1 e (B) preferência indicada pelos estudantes entre o diagrama 1 ou o diagrama de Linus Pauling



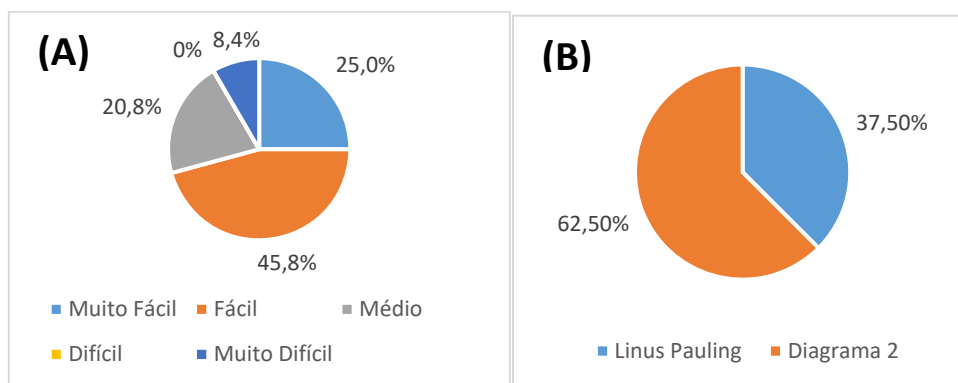
Fonte: Os Autores (2019)

O gráfico 7 ilustra em termos percentuais o grau de dificuldade exibido pelos estudantes na assimilação do diagrama 2 (Gráfico 7A) e a preferência de uso deste quando comparado com o diagrama de Linus Pauling (Gráfico 7B). A maioria dos estudantes que utilizaram o diagrama 2 classificaram este como de memorização fácil (45,8%), 25,0% classificaram o diagrama como de assimilação muito fácil e 20,8% como de grau de dificuldade médio. Apenas 8,4% dos estudantes indicou o diagrama como de assimilação muito difícil. Uma maior parcela de estudantes classificou o diagrama 2 como fácil ou muito fácil, revelando uma maior afinidade pelo diagrama 2 se comparado ao diagrama 1. Esta evidência é corroborada pela maior

preferência dos estudantes em utilizar o diagrama 2 em comparação ao diagrama de Linus Pauling, conforme ilustrado na gráfico 7B.

Esta preferência está provavelmente associada a compactação que ele apresenta, podendo ser escrito em apenas uma linha. Contudo, dos três diagramas aqui estudados este foi o que exibiu o menor número de acertos nas cinco questões testes (Gráfico 5). Esta contradição entre afinidade dos estudantes pelo diagrama 2 e baixo desempenho no teste, indica que o diagrama 2 não foi corretamente entendido pelos estudantes. Assim, houve uma falsa sensação de facilidade no uso do diagrama pelos estudantes, existindo, na verdade, a não compreensão de sua correta estruturação.

Gráfico 7. (A) Nível de dificuldade estimado pelos estudantes na assimilação do diagrama 2 e (B) preferência indicada pelos estudantes entre o diagrama 2 ou o diagrama de Linus Pauling



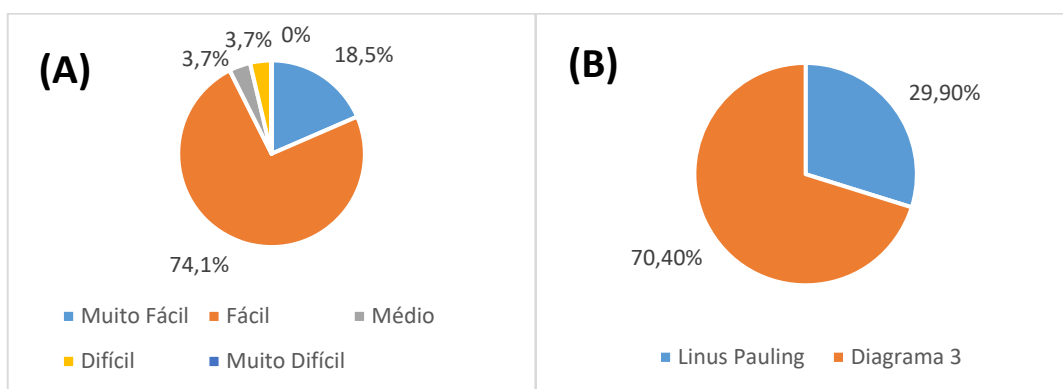
Fonte: Os Autores (2019)

Finalmente, as respostas qualitativas dadas pelos estudantes quanto ao grau de dificuldade na assimilação do diagrama 3 (Gráfico 8A), bem como a preferência entre este diagrama ou o diagrama de Linus Pauling (Gráfico 8B) são indicadas no Gráfico 8. A grande maioria (74,1%) dos estudantes entendem como fácil a memorização do diagrama 3. Dos demais, 18,5% entendem como muito fácil a assimilação deste diagrama. Esse diagrama teve massiva aceitação dos estudantes, visto que 70,40% dos discentes indicaram preferir o uso desse diagrama em detrimento do diagrama de Linus Pauling.

Somado esses resultados qualitativos ao excelente êxito que os estudantes que usaram o diagrama 3 obtiveram no teste aplicado, conforme discutido anteriormente (Gráfico 5), é possível indicar que o seu uso se credência como um excelente artifício em aulas de distribuição eletrônica no ensino médio. O sucesso desse diagrama de distribuição eletrônica em detrimento dos demais está possivelmente relacionado ao fato que ele não muda radicalmente a

estruturação do diagrama de Linus Pauling, já assimilado anteriormente pelos estudantes. É possível que o conhecimento do diagrama de Linus Pauling tenha servido como subsunçor no aprendizado do diagrama 3, ou seja, a assimilação do diagrama de Parsons tenha proporcionado uma aprendizagem significativa aos estudantes (MIRIAM; COSTA, 2019).

Gráfico 8. (A) Nível de dificuldade estimado pelos estudantes na assimilação do diagrama 3 e (B) preferência indicada pelos estudantes entre o diagrama 3 ou o diagrama de Linus Pauling



Fonte: Os Autores (2019)

Freeman (1990) incentiva o uso do diagrama de Parsons mas sugere que durante as aulas este não seja simplesmente usado como mnemônico mas sim correlacionado com a versão da tabela periódica de Janet. Deste modo, além do diagrama 3 possibilitar a distribuição eletrônica dos elementos de um modo simples, sem a necessidade que os estudantes precisem de conhecimentos avançados em matemática, pode ainda ser utilizado para tornar mais objetiva a relação entre configuração eletrônica e leis periódicas.

Deste modo, incentivamos o uso do diagrama de Pearsons em sala de aula e acreditamos que este possa ser abordado também em livros didáticos de química no ensino médio, talvez, necessitando apenas passar por um processo de despersonalização para se caracterizar uma transposição didática (BIANCO; MELONI, 2019).

É importante ressaltar que os diagramas aqui apresentados não esgotam todas as propostas que foram publicadas, em especial no periódico *Journal Chemical Education*, no século passado, existindo ainda as propostas de Keller (1962), Hovland (1986), Darsey (1988), Rieck (1990) e possivelmente outros não contemplados em nossa pesquisa bibliográfica. Nossa principal contribuição neste estudo foi demonstrar aos profissionais do ensino, em particular da área da química, a existência de tais diagramas. Também, conforme nossa pesquisa bibliográfica, não foi evidenciado nenhum trabalho publicado de natureza similar. Apesar das

diferentes propostas de esquemas de distribuição eletrônica, não se tem publicações socializando as experiências em sala de aula com uso de tais diagramas. Assim, estimulamos docentes de química a utilizarem os diagramas aqui indicados e confrontarem seus resultados com aqueles do presente trabalho.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo identificou que o diagrama proposto por Parsons, aqui nomeado de diagrama 3, apresentou excelentes resultados quando aplicado a estudantes do 1º ano do ensino médio. Nossos estudos indicam que os alunos apresentam excelente rendimento em testes de distribuição eletrônica usando o diagrama 3, sugerindo que o uso deste foi preferido até mesmo que o diagrama de Linus Pauling. Por outro lado, neste estudo e particular não puemos atestar vantagens no uso do diagrama propostos por Grenda (diagrama 1) e naquele proposto por Iza e Gil (diagrama 2).

Deste modo, incentivamos que os docentes de química possam utilizar o diagrama proposto por Parson em suas aulas de distribuição eletrônica assim como que autores de livro de ensino médio possam incorporar tal diagrama as suas obras.

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.

DARSEY, J. A. A new approach for determining electronic configurations of atoms. *Journal of Chemical Education*, v. 65, n. 12, p. 1036, 1988.

FREEMAN, R. D. “New” schemes for applying the aufbau principle. *Journal of Chemical Education*, Discussão do Mnemônico e Pearson, indicando a sua correlação com a tabela periódica, v. 67, n. 7, p. 576, 1990.

GILBERT, J. K.; TREAGUST, D. *Multiple Representations in Chemical Education*. [S.l.]: Springer, 2009.

GREY, S. C. A simple mnemonic device for electron configuration. *Journal of Chemical Education*, Mnemônico de Glenda, baseada num triangulo invertido, v. 65, n. 8, p. 697, 1988.

HOVLAND, A. K. Aufbau on a chessboard. *Journal of Chemical Education*, v. 63, n. 7, p. 607, 1986

IZA, N.; GIL, M. A mnemonic method for assigning the electronic configurations of atoms.

Journal of Chemical Education, Mnemonico diagramado em linha, v. 72, n. 11, p. 1025–1026, 1995.

JOHNSTONE, A. H. Teaching of Chemistry - Logical or Psychological? *CHEMISTRY EDUCATION: RESEARCH AND PRACTICE IN EUROPE Educ. Res. Pract. Eur*, v. 1, n. 1, p. 9–15, 2000.

KELLER, R. N. Energy level diagrams and extranuclear building of the elements. *Journal of Chemical Education*, v. 39, n. 6, p. 289-293, 1962.

MASTROPIERI, M. A.; SCRUGGS, T. E. Mnemonic Social Studies Instruction: Classroom Applications. *Remedial and Special Education*, v. 10, n. 3, p. 40–46, 1989.

MIRIAM, M.; COSTA, L. Análise do conceito de Aprendizagem Significativa à luz da Teoria de Ausubel. *Revista Brasileira de Enfermagem*, v. 72, n. 1, p. 258–265, 2019.

PARSONS, R. W. A new mnemonic scheme for applying the aufbau principle. *Journal of Chemical Education*, Artigo Original de Diulgação do Mnemônico, v. 66, n. 4, p. 319, 1989.

PAULO, I. DE; MOREIRA, M. The language problem in the teaching of quantum mechanics at High School level. *Ciência & Educação*, Artigo relevante na discussão da linguagem a ser adotada sobre conceitos quânticos, v. 17 (2), p. 421–434, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v17n2/a11v17n2.pdf>>.

RIECK, D. F. Understanding electron configurations. *Journal of Chemical Education*, v. 67, n. 5, p. 398, 1990.

WARTHA, E.; SILVA, E.; BEJARANO, N. Cotidiano e contextualização no ensino de Química. *Química nova na escola*, v. 35, n. 2, p. 84–91, 2013.