

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA EM REDE NACIONAL
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

DIEGO DE BRITO SILVA

MODELAGEM DE LIGAÇÕES QUÍMICAS ATRAVÉS DO OSCILADOR HARMÔNICO
SIMPLES PARA ALUNOS DO 2º ANO DO ENSINO MÉDIO

São Luís – MA
2025

DIEGO DE BRITO SILVA

MODELAGEM DE LIGAÇÕES QUÍMICAS ATRAVÉS DO OSCILADOR HARMÔNICO
SIMPLES PARA ALUNOS DO 2º ANO DO ENSINO MÉDIO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física em Rede Nacional (PROFIS), na Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Linha de pesquisa: processos de ensino e aprendizagem e tecnologias de informação e comunicação no ensino de física

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Moraes Diniz

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Silva, Diego de Brito.

Modelagem de ligações químicas através do oscilador harmônico simples para alunos do 2º ano do ensino médio / Diego de Brito Silva. - 2025.

135 f.

Orientador(a): Eduardo Moraes Diniz.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Rede - Ensino de Física em Rede Nacional/ccet, Universidade Federal do Maranhão, São Luís Ma, 2025.

1. Oscilador Harmônico Simples. 2. Oscilações Moleculares. 3. Aprendizagem Significativa. 4. Avogadro. 5. Desmos. I. Diniz, Eduardo Moraes. II. Título.

DIEGO DE BRITO SILVA

MODELAGEM DE LIGAÇÕES QUÍMICAS ATRAVÉS DO OSCILADOR HARMÔNICO
SIMPLES PARA ALUNOS DO 2º ANO DO Ensino Médio

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física em Rede Nacional (PROFIS), na Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em: 09/05/2025

BANCA EXAMINADORA

Eduardo Moraes Diniz
Doutor em Física – Universidade Federal do Maranhão
(Presidente)

Helianane Oliveira Rocha
Doutora em Educação – Universidade Federal do Maranhão
(Membro interno)

Edvan Moreira
Doutor em Física – Universidade Estadual do Maranhão
(Membro externo)

AGRADECIMENTOS

A Deus pela minha existência.

A minha Mãe Maria das Neves por estar sempre ao meu lado me apoiando nos meus estudos.

Ao meu orientador professor Prof. Dr. Eduardo Moraes Diniz pela imensa ajuda e apoio no desenvolvimento dessa dissertação.

A minha namorada Andressa Isabela Ferreira da Silva pelos materias de pesquisa, motivação e carinho.

Aos professores que fazem parte do PROFIS, polo 47, por estarem sempre dispostos a ajudar.

Aos meus amigos do mestrado da turma 2023 do polo 47, pelo companheirismo e parceria desenvolvida no decorrer do curso.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“Um físico é apenas a forma que um átomo encontrou de olhar para si mesmo.”

Niels Bohr

RESUMO

As oscilações são fenômenos presentes na natureza, manifestando-se em uma vasta gama de situações. Elas podem ser observadas em sistemas físicos, biológicos e químicos, desempenhando um papel crucial em muitos processos naturais e tecnológicos. Na educação básica o assunto oscilações é frequentemente apresentado apenas no contexto de sistemas massa-mola e pêndulo simples. Embora esses exemplos sejam fundamentais para introduzir os conceitos básicos de movimento harmônico, eles representam apenas uma fração das oscilações que ocorrem na natureza. No entanto, as oscilações podem ser ensinadas com outros exemplos, como oscilações moleculares, possibilitando aulas mais interessantes e atrativas. Utilizando o programa Avogadro, os estudantes podem montar modelos moleculares e visualizar as energias de vibrações e as distâncias dos átomos dessas moléculas. O programa permite a simulação e análise das oscilações em diferentes moléculas, proporcionando uma compreensão visual e interativa dos fenômenos moleculares. Utilizou-se ainda o programa Desmos para ajuste de curvas (da energia e da distância dos átomos na molécula) para determinar a constante de mola k das moléculas estudadas e aprofundar o assunto oscilações. Isso não só reforça o entendimento dos conceitos teóricos, mas também introduz ferramentas de análise e visualização de dados, que são habilidades valiosas em várias áreas científicas. Para tanto, este trabalho teve como finalidade desenvolver um manual para aplicar esses estudos das oscilações moleculares (usando o Avogadro e o Desmos) aos alunos do segundo ano do Ensino Médio. O mesmo visa fornecer um guia passo a passo para professores e alunos, facilitando a integração dessas ferramentas digitais nas aulas de ondulatória e promovendo um aprendizado mais dinâmico e envolvente. O produto educacional teve como resultado um manual sobre estudos de vibrações moleculares utilizando os programas Avogadro e Desmos fundamentado na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, possibilitando uma prática pedagógica mais dinâmica junto aos alunos. Ao abordar o estudo das oscilações moleculares em sala de aula, mostramos aos alunos que esse fenômeno pode acontecer também em escalas muito menores, comparadas ao mundo macroscópico. Com isso, busca-se promover uma aprendizagem mais profunda e contextualizada, facilitando a compreensão dos fenômenos científicos de forma mais abrangente.

Palavras chave: Oscilador harmônico simples. Oscilações moleculares. Aprendizagem significativa. Avogadro. Desmos.

ABSTRACT

Oscillations are phenomena present in nature, manifesting in a wide range of situations. They can be observed in physical, biological, and chemical systems, playing a crucial role in many natural and technological processes. In basic education, the topic of oscillations is often presented only in the context of mass-spring systems and simple pendulums. While these examples are fundamental for introducing the basic concepts of harmonic motion, they represent only a fraction of the oscillations that occur in nature. However, oscillations can be taught using other examples, such as molecular oscillations, making classes more interesting and engaging. Using the Avogadro software, students can build molecular models and visualize the vibrational energies and the distances between atoms in these molecules. The program allows for the simulation and analysis of oscillations in different molecules, providing a visual and interactive understanding of molecular phenomena. The Desmos software was also used for curve fitting (of energy and atomic distance in the molecule) to determine the spring constant k of the studied molecules and to deepen the topic of oscillations. This not only reinforces the understanding of theoretical concepts but also introduces data analysis and visualization tools, which are valuable skills in various scientific fields. To this end, the purpose of this work was to develop a manual for applying these studies of molecular oscillations (using Avogadro and Desmos) for second-year high school students. It aims to provide a step-by-step guide for teachers and students, facilitating the integration of these digital tools into wave-related lessons and promoting more dynamic and engaging learning. The educational product resulted in a manual on molecular vibration studies using the Avogadro and Desmos programs, based on David Ausubel's theory of meaningful learning, enabling a more dynamic pedagogical practice with students. By addressing the study of molecular oscillations in the classroom, we show students that this phenomenon can also occur on much smaller scales compared to the macroscopic world. In doing so, we aim to promote deeper and more contextualized learning, facilitating a more comprehensive understanding of scientific phenomena.

Keywords: Simple harmonic oscillator. Molecular oscillations. Meaningful learning. Avogadro. Desmos.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 TEORIA DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE DAVID AUSUBEL.....	13
3 BREVE DESCRIÇÃO DOS PROGRAMAS UTILIZADOS.....	16
3.1 Avogadro.....	17
3.2 Desmos.....	18
4. CLASSIFICAÇÕES DAS LIGAÇÕES QUÍMICAS.....	20
4.1 Ligações iônicas.....	20
4.2 Ligações metálicas.....	20
4.3 Ligações covalentes.....	20
5. OSCILADOR HARMÔNICO SIMPLES: EQUAÇÃO DIFERENCIAL E SOLUÇÕES.....	21
5.1 Vibrações moleculares.....	25
6. AJUSTE DE CURVAS POR MÍNIMOS QUADRADOS	28
6.1 Ajuste polinomial parabólico.....	29
7 METODOLOGIA.....	32
8. APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL.....	37
8.1 Encontros e procedimentos feitos com a turma em sala: Primeiro dia.....	37
8.2 Encontros e procedimentos feitos com a turma em sala: Segundo dia ao décimo dia de aula.....	39
9 RESULTADOS.....	49
10 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
REFERENCIAS.....	57
APÊNDICE A-CRONOGRAMAS DAS ATIVIDADES.....	59
APÊNDICE B-QUESTIONÁRIO I-DIAGNÓSTICO.....	61
APÊNDICE C-QUESTÕES DE FIXAÇÃO.....	62
APÊNDICE D-QUESTIONÁRIO II-FINAL.....	63
APÊNDICE E-PRODUTO EDUCACIONAL.....	66
APÊNDICE F-CARTA DE APRESENTAÇÃO DO PESQUISADOR.....	135

1 INTRODUÇÃO

A pesquisa científica no campo das oscilações moleculares tem sido de grande interesse devido à sua relevância em diversas áreas da Ciência, incluindo Química, Física e Biologia. Esta dissertação explorará e analisará os fenômenos de oscilações moleculares, utilizando os programas computacionais Avogadro para modelar as moléculas e a calculadora gráfica Desmos para ajustar curvas e interpretar os resultados. A relevância desse estudo está na possibilidade de proporcionar um entendimento mais profundo das vibrações moleculares e suas aplicações práticas em diferentes contextos científicos.

Quase todos os sistemas que são deslocados de uma posição de equilíbrio estável exibem *oscilações*. Se o deslocamento for *pequeno*, as oscilações são quase sempre do tipo chamado de harmônica simples. Oscilações, e principalmente as oscilações harmônicas simples, são portanto, extremamente difundidas. Elas são, também, extremamente úteis. Por exemplo, todos os bons relógios dependem de um oscilador para regular a uniformidade do tempo: os primeiros relógios confiáveis utilizavam um pêndulo; os primeiros relógios portáteis (historicamente cruciais na navegação) utilizavam uma roda reguladora oscilante; relógios de pulso modernos usam a oscilação de cristais de quartzo; hoje, os relógios mais acurados como o relógio atômico no National Institute for Standards and Technology, em Boulder, Colorado, usam a oscilação de um átomo. (TAYLOR, 2013, p 161)

O Oscilador Harmônico Simples (OHS) é um modelo físico amplamente conhecido e aparece em diversas situações: sistema massa-mola, pêndulos (simples, torção, físico etc.), circuitos elétricos de corrente alternada; geração de ondas eletromagnéticas (dipolo elétrico oscilante) e vibrações moleculares.

A aplicação do OHS nas vibrações moleculares pode trazer benefícios ao processo de ensino-aprendizagem, pois possibilita a apresentação de um sistema físico mais interessante que os vistos no Ensino Médio, incorporação de saberes que estão para além da sala de aula, possibilita a apresentação de temas de pesquisa em Física, realiza uma interdisciplinaridade com as aulas de Química, entre outros fatores.

Uma forma de fazer isso é utilizar dinâmica molecular para modelar a vibração molecular. Avaliando a energia em função do comprimento das ligações podemos estudar o OHS nesse sistema físico.

Com base em um levantamento bibliográfico, identificamos um trabalho que desenvolve de modo semelhante essa temática, a saber “Uma proposta para o ensino de oscilações” (Ferreira, 2005), discute alguns resultados obtidos com os programas desenvolvidos utilizando o programa computacional *Mathematica* e empregado por parte de docentes e discentes, no processo de ensino e aprendizagem de conceitos sobre movimento oscilatório unidimensional. O trabalho possibilitava a comparação entre os tipos de movimentos

oscilatórios (movimento harmônico simples, movimento amortecido e oscilações forçadas), além disso determinava as características principais de cada modelo de oscilador, com objetivo para uma aprendizagem significativa.

O programa Avogadro, que será utilizado neste estudo, já foi utilizado em alguns trabalhos da área da Química (Exemplos: Avogadro no ensino de química: Um avanço editor molecular de visualização de um grande potencial pedagógico (Batista, 2018) e Simulação computacional no ensino de química: O uso do programa Avogadro como ferramenta auxiliar no ensino de ligações químicas (SILVA, 2020)). Este programa computacional é gratuito e está disponível na *internet* para *download*. O Avogadro pode ser utilizado para construção de moléculas em 3D e é muito útil para facilitar no ensino da Química Orgânica (recomendado para alunos do terceiro ano do Ensino Médio).

Descreveremos em detalhes os fenômenos das oscilações moleculares, o desenvolvimento de uma abordagem didática para o ensino desses conceitos e a criação de um manual prático (produto educacional) para ser utilizado por professores e alunos do segundo ano do Ensino Médio. Especificamente, pretende-se no objetivo geral:

- Confeção de um manual didático (produto educacional) que servirá como recurso pedagógico para ser utilizado no segundo ano do Ensino Médio nas aulas de Física para o estudo de oscilações moleculares.

Já nos objetivos específicos:

- Obter os valores das constantes elásticas k das moléculas H_2 , O_2 e N_2 por meio dos programas Avogadro e Desmos.
- Aplicar questionários (antes e depois do recurso pedagógico) em uma turma do segundo ano do Ensino Médio que servirá para identificar o nível de conhecimento prévio dos alunos, para ajustar no ensino do conteúdo às suas necessidades, avaliando também o uso do recurso educacional.

Este trabalho está organizado em nove capítulos. O primeiro introduz o tema e a justificativa do estudo, apresentando os objetivos geral e específicos. O segundo capítulo, intitulado **Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel**, aborda a teoria de aprendizagem significativa desenvolvida por David Ausubel, discutindo seus princípios fundamentais, como a importância do conhecimento prévio do estudante. Em seguida, o terceiro capítulo, intitulado **Breve Descrição dos Programas Utilizados**, aborda a importância das tecnologias digitais na educação e faz uma breve descrição sobre os programas Avogadro e Desmos. O quarto capítulo, **Classificações das Ligações Químicas**, apresenta os tipos de ligações químicas, fundamentais para a compreensão da estrutura e propriedades das

substâncias químicas. O quinto capítulo, **Oscilador Harmônico Simples: Equação Diferencial e Soluções**, trata do modelo do oscilador harmônico simples, um conceito fundamental na Física e na Química para descrever sistemas vibracionais. Em seguida, uma subseção intitulada **Vibrações Moleculares** mostra como as vibrações moleculares podem ser modeladas como osciladores harmônicos.

O sexto capítulo, **Ajuste de Curvas**, aborda as técnicas de ajuste de curvas, utilizadas para modelar dados experimentais e determinar parâmetros relevantes a partir de observações. O sétimo capítulo, **Metodologia**, relata os dados e discussões trabalhados em sala de aula através de questionários, aulas e softwares (Avogadro e Desmos), culminando na confecção de um recurso pedagógico para ensinar oscilações para alunos do segundo ano do Ensino Médio. O oitavo capítulo, **Aplicação do Produto Educacional**, iremos mostrar como foram utilizados os recursos didáticos para ensinar o OHS, de forma que o estudo seja mais significativo e abrangente para os estudantes do segundo ano do Ensino Médio. O nono capítulo, **Resultados**, exporá os dados da turma, do grupo teste, do controle e a satisfação dos estudantes que utilizaram esses recursos educacionais. E por fim, o décimo capítulo (**Considerações Finais**) apresentará uma síntese dos principais pontos abordados no trabalho e a relevância do trabalho.

Espera-se que este trabalho contribua para um melhor entendimento das oscilações moleculares e proporcione ferramentas práticas para o ensino desses conceitos, facilitando a aprendizagem dos alunos do Ensino Médio, que estão estudando oscilações, e promovendo um ensino mais eficaz e envolvente.

2 TEORIA DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE DAVID AUSUBEL

A teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, é uma teoria cognitiva que se concentra no processo de assimilação e integração de novos conhecimentos nas estruturas cognitivas existentes dos aprendizes. Ausubel acredita que a aprendizagem significativa ocorre quando novas informações são relacionadas de maneira não arbitrária e substantiva com o conhecimento prévio do aluno.

[...] Este conhecimento prévio é, para Ausubel, o fator determinante do processo de aprendizagem. Note-se que, para Ausubel, o conhecimento é significativo por definição, resultando de um processo psicológico que envolve a interação entre ideias culturalmente significativas, já “ancoradas” na estrutura cognitiva *particular* de cada aprendiz e o seu próprio mecanismo mental para aprender de forma significativa (PACHECO, 2003, p 4).

Ausubel enfatizou a importância da estrutura cognitiva de quem está aprendendo, que consiste no conhecimento prévio e nas experiências que o indivíduo já possui. Ele argumentou que novos conhecimentos são aprendidos mais facilmente quando estão relacionados a conceitos relevantes e claros na estrutura cognitiva do aluno.

Um dos conceitos que o autor aborda é sobre o “subsunçor”. Este é uma ideia ou conceito específico que está claramente definido e compreendido pelo aluno. Quando um novo conhecimento é apresentado de forma significativa e é relacionado a um subsunçor já existente na estrutura cognitiva do discente, ele é ancorado com uma nova unidade de conhecimento (PACHECO, 2003).

[...] A aprendizagem de subsunção ocorre quando uma proposição ‘logicamente’ significativa de uma determinada disciplina [...] se relaciona de forma significativa com proposições subordinantes específicas na estrutura cognitiva do aluno. (PACHECO, 2003, p 4).

Ausubel comparou a aprendizagem significativa com a aprendizagem mecânica. Na primeira, o aluno atribui significado às informações, relacionando-as a conceitos existentes. Já na última, as informações são memorizadas sem uma compreensão profunda e, muitas vezes, são esquecidas após um curto período e trabalhadas de forma arbitrária.

Para promover a aprendizagem de forma significativa, Ausubel sugeriu que o material de ensino deveria ser organizado de forma lógica, clara e estruturada. Deve haver um foco na apresentação de ideias claras e na facilitação das conexões entre novos e antigos conhecimentos.

Ausubel reconheceu também a importância tanto da aprendizagem por recepção (quando os alunos aprendem através da instrução direta) quanto da aprendizagem por descoberta (exploram e descobrem por conta própria). No entanto, ele enfatizou que a

aprendizagem significativa é mais eficaz quando os discentes recebem instruções que os ajudam a relacionar novos conhecimentos a conceitos existentes.

No contexto do uso de simuladores computacionais para ensinar oscilações moleculares, a teoria de Ausubel pode ser aplicada para maximizar a eficácia do aprendizado. Ao introduzir o conceito de oscilações moleculares através de instruções diretas e bem estruturadas, os alunos podem formar uma base sólida de conhecimento. Posteriormente, ao utilizar os simuladores, eles podem explorar e experimentar de maneira interativa, permitindo que relacionem os conceitos aprendidos às representações visuais e dinâmicas fornecidas pelo software. Essa abordagem combinada ajuda a promover uma aprendizagem significativa, onde os alunos não apenas memorizam os conceitos, mas também os compreendem em um nível mais profundo ao conectar novas informações a seus conhecimentos prévios sobre movimento oscilatório, como: é que oscilação, período, frequência e energia.

O envolvimento do aluno com as técnicas e estratégias de ensino é fundamental para o sucesso da aprendizagem significativa. O engajamento pode ser descrito como a vontade de participar das atividades escolares, cumprir tarefas, seguir as orientações dos professores, ser pontual, interagir de maneira positiva com professores e colegas, fazer perguntas para esclarecer conceitos, perseverar em atividades desafiadoras, buscar materiais para aprofundar o conhecimento, revisar o conteúdo aprendido anteriormente e sentir-se parte da comunidade escolar.

Moreira (1982) diz que o material simbólico é considerado potencialmente significativo quando pode ser conexo de maneira substancial e não arbitrária a uma estrutura cognitiva hipotética que inclui conhecimento prévio e desenvolvimento intelectual. Para que o aprendizado seja significativo, o conteúdo a ser aprendido deve ser relacionado a essa estrutura cognitiva específica do aprendiz, de modo fenomenológico (é uma abordagem que enfatiza a descrição dos fenômenos tal como eles se apresentam à consciência, sem explicá-los por meio de teorias pré-concebidas ou modelos externos).

Segundo Moreira (1982), a aprendizagem significativa ocorre quando o aluno relaciona novos conhecimentos aos existentes de forma substancial e não arbitrária. Para que isso ocorra, é essencial que o material de ensino seja potencialmente significativo, ou seja, que tenha um significado lógico, relacionável ao conhecimento prévio do aluno, que o mesmo esteja disposto a aprender. Os programas computacionais, ao oferecerem simulações e ferramentas de visualização, servem como material simbólico que pode facilitar a construção desses significados.

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) estabelece diretrizes claras para a

educação no Brasil, com ênfase em uma formação integral que desenvolva as competências cognitivas e socioemocionais dos estudantes. No contexto do ensino de Física, a BNCC valoriza o uso de tecnologias digitais, como os simuladores computacionais, que desempenham um papel crucial na promoção de uma aprendizagem ativa e significativa (Brasil, 2018).

Esse documento ressalta a importância de uma educação científica que permita aos alunos compreender e explicar o mundo natural, utilizando métodos e procedimentos próprios da ciência. Entre os objetivos gerais do ensino de Ciências da Natureza, destacam-se:

- Desenvolvimento do pensamento crítico e científico: Os estudantes devem ser capazes de formular hipóteses, planejar e realizar experimentos, coletar e analisar dados, e tirar conclusões com base em evidências (Brasil, 2018).

- Utilização de tecnologias digitais: A BNCC incentiva o uso de ferramentas tecnológicas para potencializar o aprendizado, permitindo a simulação de fenômenos complexos e a visualização de conceitos abstratos (Brasil, 2018).

- Aprendizagem significativa: Promover a construção de conhecimentos novos a partir da integração com saberes prévios dos alunos, tornando o aprendizado mais contextualizado e relevante (Brasil, 2018).

A utilização de simuladores computacionais no ensino de Física, conforme recomendado pela BNCC, busca promover uma aprendizagem mais significativa e o desenvolvimento de competências científicas. Ao proporcionar uma visualização clara de conceitos abstratos, permitir a experimentação segura e acessível, e incentivar a aprendizagem interativa, os simuladores tornam o aprendizado de Física mais atraente, relevante e contextualizado. A adoção dessas tecnologias no ambiente educacional contribui para a formação de alunos críticos, curiosos e preparados para enfrentar os desafios do mundo moderno (Brasil, 2018).

Além disso, a incorporação de simuladores computacionais no currículo de Física estimula a autonomia dos estudantes, permitindo que explorem conceitos de maneira independente e em seu próprio ritmo. Isso está alinhado com a perspectiva da BNCC de formar cidadãos capazes de aprender ao longo da vida e adaptar-se às mudanças tecnológicas e científicas.

Os simuladores também promovem a inclusão educacional, possibilitando que estudantes de diferentes contextos sociais e econômicos tenham acesso a experiências de aprendizagem de alta qualidade. Com o avanço das tecnologias digitais, o acesso a esses recursos tem se tornado mais democrático, contribuindo para a equidade educacional.

Em suma, a integração de simuladores computacionais no ensino de Física,

conforme orientações da BNCC, não apenas enriquece a experiência de aprendizagem, mas também prepara os alunos para um mundo cada vez mais tecnológico e interconectado. Ao desenvolver competências como pensamento crítico, resolução de problemas e habilidades tecnológicas, os estudantes estarão mais bem preparados para os desafios acadêmicos e profissionais do futuro.

3 BREVE DESCRIÇÃO DOS PROGRAMAS UTILIZADOS

De acordo com Queiroz (2020), com o passar do tempo, a sociedade foi se transformando, e, junto a ela, a tecnologia digital, impactando o processo de ensino e aprendizagem, bem como na inovação e renovação dos métodos de ensino, sendo essencial entender a aplicação pedagógica das Tecnologias Educacionais.

As Tecnologias Educacionais são definidas como o conjunto de tecnologias que permitem a produção e disseminação de informações e conhecimento para um grande número de pessoas em diversos locais, superando barreiras de tempo. O desenvolvimento delas está continuamente remodelando as relações interpessoais, incluindo inevitavelmente a educação, e, assim, influenciando os métodos de ensino e aprendizagem (Queiroz, 2020).

Queiroz (2020) ainda comenta que as novas tecnologias devem ser empregadas para enriquecer o ambiente educacional. Para integrar essas tecnologias no contexto educacional, é importante que os professores adquiram novos conhecimentos e habilidades para lidar criticamente com as tecnologias educacionais em seu dia a dia. O docente deve estar familiarizado com o uso do computador e os suportes midiáticos.

De acordo com o Centro de Inovação para a Educação Brasileira (2019), as competências digitais dos professores podem ser divididas em três níveis de apropriação em diferentes aspectos: (1) fluência no uso de tecnologias digitais, que inclui tanto o uso pessoal quanto pedagógico das Tecnologias Educacionais; (2) integração das tecnologias digitais ao currículo, que envolve a incorporação das Tecnologias Educacionais em conformidade com as diretrizes da rede de ensino e da escola; (3) empoderamento dos alunos, que se refere à participação ativa dos estudantes no uso das Tecnologias Educacionais durante o processo de ensino e aprendizagem.

O ensino pode ser entendido como a ação intencional de ajudar alguém a aprender algo. Ao selecionar Tecnologias Educacionais, os professores devem levar em conta o interesse e a motivação dos alunos, além de melhorar a apresentação de determinados conteúdos. Nesse cenário, os educadores podem usar ferramentas digitais para criar objetos educacionais, que são

recursos aplicáveis ao ensino. O professor de Física, ao ministrar aulas sobre oscilações, pode usar os softwares Avogadro e Desmos. O primeiro podemos fazer a modelagem molecular e estudar sua dinâmica, como a energia de vibração e a distância interatômica. Utilizando os dois últimos dados do programa anterior, podemos empregá-los no segundo software para realizar ajustes de curvas da Energia Potencial Elástica em função da distância interatômica e determinar sua constante elástica k de ligação.

3.1 Avogadro

Hanwell (2012), comenta que o Avogadro é um editor de moléculas avançado, de código aberto, amplamente utilizado na modelagem molecular e no estudo de estruturas químicas. Sua interface gráfica é amigável e intuitiva, permitindo que usuários de diferentes níveis de experiência, desde estudantes até pesquisadores profissionais, possam explorar e visualizar moléculas em 3D. O software oferece uma vasta gama de ferramentas para construção, manipulação e otimização de estruturas moleculares, tornando-o uma escolha versátil para diferentes aplicações científicas.

Continuando Hanwell (2012), uma das principais características do programa anterior é sua capacidade de realizar cálculos químicos complexos, como a otimização de geometria molecular e a análise de frequências vibracionais. Esses recursos são particularmente úteis para estudos de química quântica e simulações moleculares, onde é necessário obter dados precisos sobre a energia potencial e as propriedades físicas das moléculas. Além disso, o *software* pode ser integrado com outros programas de química computacional, como *Gaussian* e ORCA, ampliando ainda mais suas funcionalidades e aplicabilidade.

O Avogadro também se destaca por seu ambiente personalizável, permitindo que os usuários ajustem a interface e as ferramentas de acordo com suas necessidades específicas. Com a possibilidade de adicionar plugins e scripts personalizados, os usuários podem expandir as capacidades do software, criando novas funcionalidades ou automatizando tarefas rotineiras. Essa flexibilidade faz do programa uma ferramenta poderosa para pesquisa acadêmica e desenvolvimento de novos materiais.

Outro ponto forte do programa é sua aplicabilidade no ensino de Química e Física. Por ser um software gratuito e acessível, é amplamente adotado em salas de aula e laboratórios educacionais ao redor do mundo. Professores podem utilizá-lo para demonstrar conceitos abstratos, como ligações químicas, hibridização de orbitais e propriedades moleculares, de maneira visual e interativa. Isso facilita a compreensão dos alunos e melhora o aprendizado, especialmente em tópicos complexos (HANWELL 2012).

Além disso, o software de modelagem molecular permite a geração de imagens de

alta qualidade e animações de moléculas, que podem ser utilizadas em apresentações e publicações científicas. Essa funcionalidade é particularmente valiosa para pesquisadores que precisam ilustrar seus estudos de forma clara e precisa. Com a capacidade de visualizar moléculas em diferentes perspectivas e aplicar diferentes estilos de renderização, torna-se uma ferramenta essencial para a comunicação visual no campo da química e da ciência dos materiais.

A comunidade de usuários dessa ferramenta é outro fator que contribui para o sucesso do programa. Como um projeto de código aberto, ele conta com a colaboração de uma comunidade ativa que contribui com atualizações, correções de bugs e novos recursos. Isso garante que o software esteja sempre atualizado e em evolução, atendendo às necessidades emergentes da pesquisa científica e do ensino. A disponibilidade de fóruns e documentação detalhada também facilita o aprendizado e a resolução de problemas pelos usuários.

Por fim, a ferramenta se mantém como uma das mais acessíveis e robustas para modelagem molecular, combinando facilidade de uso, versatilidade e poder computacional. Seja para o estudo de moléculas simples ou sistemas mais complexos, o software oferece os recursos necessários para realizar análises detalhadas e obter resultados confiáveis. Sua integração com outros programas de Química computacional e o suporte contínuo da comunidade garantem que o software continuará sendo uma escolha relevante para cientistas e educadores.

3.2 Desmos

A calculadora gráfica Desmos é uma ferramenta online amplamente utilizada para a visualização e exploração de funções matemáticas. Lançada em 2011, ela oferece uma interface intuitiva que permite aos usuários plotar gráficos de forma instantânea e interativa, facilitando a compreensão de conceitos matemáticos complexos. A plataforma é acessível via navegador, o que elimina a necessidade de downloads ou instalações, tornando-a uma escolha prática tanto para estudantes quanto para educadores (STUDIO, 2024).

Entre suas funcionalidades, se destaca pela capacidade de manipular gráficos em tempo real. Usuários podem inserir equações, ajustar parâmetros e ver as mudanças refletidas imediatamente nos gráficos. A calculadora suporta uma ampla gama de funções, incluindo polinômios, trigonometria, logaritmos e estatísticas, além de permitir a criação de tabelas de dados que podem ser visualizadas graficamente. A ferramenta também oferece recursos para criar gráficos em coordenadas cartesianas, polares e paramétricas, tornando-a bastante versátil.

De acordo com o STUDIO (2024) o Desmos é especialmente popular no campo da educação, sendo amplamente adotada por professores para ensinar matemática de maneira mais visual e interativa. A plataforma inclui o *Desmos Activity Builder*, uma ferramenta que permite

aos educadores criarem atividades personalizadas para os alunos. Essas atividades podem incluir explorações gráficas, problemas interativos e simulações, que ajudam a consolidar o aprendizado de conceitos matemáticos. Além disso, a comunidade Desmos compartilha uma vasta biblioteca de atividades já prontas, facilitando ainda mais o trabalho dos professores.

A acessibilidade é outro ponto forte do programa. A plataforma está disponível gratuitamente e pode ser utilizada em qualquer dispositivo com acesso à internet, o que a torna acessível para uma ampla gama de usuários. Também é conhecida por seu compromisso com a inclusão, oferecendo suporte para múltiplos idiomas e funcionalidades de acessibilidade, como compatibilidade com leitores de tela. Essas características tornam a uma ferramenta valiosa tanto em contextos educacionais quanto em uso pessoal.

Desde o seu lançamento, o Desmos tem tido um impacto significativo no ensino e aprendizagem de matemática. A plataforma continua a evoluir, com novos recursos sendo adicionados regularmente para atender às necessidades de uma comunidade global de usuários. Firmou-se como uma ferramenta essencial para aqueles que buscam uma abordagem dinâmica e interativa para o ensino e a exploração de Matemática e na Física tratando de oscilações moleculares.

4 CLASSIFICAÇÕES DAS LIGAÇÕES QUÍMICAS

As ligações químicas são interações fundamentais que mantêm os átomos unidos em moléculas e compostos, sendo responsáveis pela formação de todas as substâncias químicas conhecidas. A compreensão dessas ligações é essencial para explicar as propriedades físicas e químicas dos materiais. As principais ligações químicas podem ser classificadas em iônicas, metálicas e covalentes, cada uma com características e comportamentos distintos.

4.1 Ligações iônicas

As ligações iônicas ocorrem quando há transferência completa de elétrons de um átomo para outro, resultando na formação de íons de cargas opostas que se atraem eletrostaticamente. Esse tipo de ligação é comum entre metais e não-metais. Por exemplo, no cloreto de sódio (NaCl), o átomo de sódio (Na) perde um elétron para o átomo de cloro (Cl), formando íons Na^+ e Cl^- . Esses íons são mantidos juntos por forças eletrostáticas muito fortes (Atkins, 2012). As substâncias iônicas geralmente formam estruturas cristalinas sólidas à temperatura ambiente e possuem altos pontos de fusão e ebulição. Além disso, quando dissolvidas em água, conduzem eletricidade devido à mobilidade dos íons (Feltre, 2004).

4.2 Ligações metálicas

Segundo Tavares (2007), As ligações metálicas são típicas dos metais e caracterizam-se pela presença de uma “nuvem” de elétrons livres que permeiam uma rede de cátions metálicos. Esses elétrons deslocalizados são responsáveis por muitas das propriedades características dos metais, como a alta condutividade elétrica e térmica, a maleabilidade e a ductilidade. Nos metais, os átomos não compartilham ou transferem elétrons de maneira fixa, mas sim, formam um gás de elétrons que se movem livremente através da estrutura metálica, proporcionando coesão ao conjunto (Almeida, 2008).

4.3 Ligações covalentes

De acordo com Santos (2006), Nas ligações covalente, os átomos compartilham pares de elétrons, permitindo que cada átomo atinja uma configuração eletrônica estável semelhante à dos gases nobres. Essas ligações podem ser:

- **Simples:** Dois átomos compartilham um par de elétrons. Essa é a ligação mais comum e pode ser representada por um traço (ou linha) entre os símbolos dos átomos. Por exemplo, na molécula de hidrogênio (H_2), dois átomos de hidrogênio compartilham um par de elétrons para formar uma ligação simples: H–H. Neste caso, cada átomo de hidrogênio contribui com um elétron para o par compartilhado, formando uma ligação simples.

- Dupla: Na ligação dupla, dois átomos compartilham dois pares, resultando em quatro elétrons sendo compartilhados no total. Isso é representado por duas linhas entre os símbolos dos átomos. Um exemplo comum de uma ligação dupla ocorre na molécula de oxigênio (O_2), onde dois átomos de oxigênio compartilham dois pares de elétrons: $O = O$ (à vista disso, cada átomo de oxigênio contribui com dois elétrons para formar dois pares compartilhados, resultando em uma ligação dupla).

- Tripla: Na ligação tripla, dois átomos compartilham três pares de elétrons, totalizando seis elétrons compartilhados. Isso é representado por três linhas entre os símbolos dos átomos. Podemos dar como exemplo de uma ligação tripla a molécula de nitrogênio (N_2), onde dois átomos de nitrogênio compartilham três pares de elétrons: $N \equiv N$. Assim, cada átomo de nitrogênio com três elétrons para formar três pares compartilhados, resultando em uma ligação tripla.

De acordo com Neta (2025), os valores médios dos comprimento de ligação (pm) das moléculas H_2 , O_2 e N_2 são, respectivamente:

H_2 : 74,114 pm (ou 0,74114 Å)

O_2 : 120,74 pm (ou 1,2074 Å)

N_2 : 109,77 pm (ou 1,0977 Å)

Portanto, as ligações simples, duplas e triplas diferem no número de pares de elétrons compartilhados entre os átomos. Esses tipos de ligações (com suas energias e distâncias interatômicas) influenciam a constante elástica k da “mola”, que liga os átomos na formação da molécula. Esse fator é importante quando se estuda as oscilações harmônicas dessas moléculas.

5 OSCILADOR HARMÔNICO SIMPLES: EQUAÇÃO DIFERENCIAL E SOLUÇÕES

Segundo Alonso (1980), entre os diversos movimentos presentes na natureza, um dos mais relevantes é o movimento oscilatório. Uma partícula está oscilando quando se desloca periodicamente ao redor de uma posição de equilíbrio. Exemplos incluem o movimento de um pêndulo, um “peso” preso na extremidade de uma mola esticada que oscila ao ser solto, elétrons em uma antena transmissora ou receptora que executam rápidas oscilações, e átomos em um sólido que estão em constante vibração.

No meio de todos os movimentos oscilatórios, o mais significativo é o movimento harmônico simples (MHS), pois, além de ser o mais simples de descrever matematicamente,

oferece uma descrição bastante precisa de diversas oscilações observadas na natureza (Alonso, 1980).

O oscilador harmônico simples é um modelo matemático amplamente utilizado para descrever o movimento vibratório de sistemas físicos quando a força restauradora (Lei de Hooke) é diretamente proporcional à posição do objeto e age no sentido oposto ao deslocamento e é dada, em uma dimensão, por:

$$F(x) = -kx \quad (1)$$

Onde:

- F representa a força restauradora. Esta é a força que atua para retornar o objeto à sua posição de equilíbrio.

- k é a constante de mola, também conhecida como constante elástica. Esta constante é específica para cada mola e indica a rigidez da mola. Quanto maior o valor de k , mais rígida é a mola.

- x representa o deslocamento da posição de equilíbrio. Este é a distância pela qual a mola está esticada ou comprimida em relação à sua posição de equilíbrio.

- $-$ (sinal negativo) indica que a força restauradora atua no sentido oposto ao deslocamento do objeto. Isto é, se a mola for esticada (deslocamento positivo), a força restauradora puxa de volta para a posição de equilíbrio; se for comprimida (deslocamento negativo), a força empurra de volta para a posição de equilíbrio.

A equação 1 descreve como a força restauradora em uma mola é proporcional ao deslocamento da mola, mas no sentido oposto, garantindo que o sistema oscile em torno da posição de equilíbrio.

A equação de movimento do oscilador harmônico simples pode ser encontrado substituindo-se a equação 1 na equação newtoniana dada por:

$$F = m \frac{d^2x}{dt^2} \quad (2)$$

Onde:

- m é a massa do objeto.

- $\frac{d^2x}{dt^2}$ é aceleração da massa do objeto. $F(x) = -kx$

Desse modo:

$$-kx = m \frac{d^2x}{dt^2} \quad (3)$$

Definindo

$$\omega_0^2 \equiv \frac{k}{m} \quad (4)$$

Onde ω_0 é frequência angular ou natural de oscilação.

A equação 3 pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2x = 0 \quad (5)$$

A equação 5 é a equação diferencial do oscilador hamônico simples, esta aparece em muitas situações na física. Sempre que ela aparece, o fenômeno correspondente é vibracional (Alonso, 1980).

A solução da equação 5 pode ser expresso de duas formas (Thornton, 2012):

$$x(t) = A\text{sen}(\omega_0t - \delta) \quad (6)$$

$$x(t) = A\text{cos}(\omega_0t - \phi) \quad (7)$$

Os ângulos de fases δ e ϕ diferem entre si por $\frac{\pi}{2}$. As soluções 6 e 7 mostram o padrão reconhecido de deslocamento senoidal do oscilador harmônico simples.

Utilizando a equação 6 e substituindo esta na expressão da energia cinética, temos:

$$T = \frac{1}{2}m \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 = \frac{1}{2}m\omega_0^2A^2\text{cos}^2(\omega_0t - \delta) \quad (8)$$

Substituindo $k = m\omega_0^2$ na equação 8, a energia cinética fica com a seguinte forma:

$$T = \frac{1}{2}kA^2\text{cos}^2(\omega_0t - \delta) \quad (9)$$

Fazendo o cálculo do trabalho necessário para deslocar a partícula por uma distância x , podemos obter a energia potencial associada. O trabalho infinitesimal dW necessário para mover a partícula por uma distância infinitesimal dx contra a força restauradora F é:

$$\begin{aligned} dW &= -Fdx \\ &= kxdx \end{aligned} \quad (10)$$

Fazendo a integração da equação 10 do ponto 0 a x e fazendo o trabalho realizado sobre a partícula estudada igual à energia potencial, obteremos:

$$U = \frac{1}{2}kx^2 \quad (11)$$

Substituindo a equação 6 na 11, a energia potencial fica da seguinte forma:

$$U = \frac{1}{2}kA^2\text{sen}^2(\omega_0t - \delta) \quad (12)$$

A energia total é dada pela soma da energia cinética e potencial, esta é dada pela seguinte expressão:

$$E = T + U \quad (13)$$

Substituindo as equações 9 e 12 na equação 13, temos:

$$\begin{aligned} E &= \frac{1}{2}kA^2 \cos^2(\omega_0 t - \delta) + \frac{1}{2}kA^2 \sin^2(\omega_0 t - \delta) \\ &= \frac{1}{2}kA^2 [\cos^2(\omega_0 t - \delta) + \sin^2(\omega_0 t - \delta)] \\ E &= \frac{1}{2}kA^2 \end{aligned} \quad (14)$$

Observamos na equação 14 a relação entre a energia total do oscilador e a amplitude de seu movimento vibracional. Também notamos que a energia é proporcional ao quadrado da amplitude e independe do tempo, o que implica na conservação da energia. Essa conservação surge porque consideramos que não há nenhum agente externo, como atrito ou força externa, agindo sobre o sistema.

Definimos o período τ_0 do movimento vibracional como o tempo que leva para o sistema completar uma oscilação completa em relação a uma posição de equilíbrio. Quando a partícula completa uma oscilação o argumento do seno da equação 6 aumenta por 2π . O período pode ser escrito matematicamente da seguinte forma abaixo:

$$\tau_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (15)$$

A frequência ν_0 (número de oscilações completas que ocorrem em um segundo, unidade em Hz) é dada pelo inverso do período τ_0 , matematicamente é:

$$\nu_0 = \frac{1}{\tau_0} \quad (16)$$

Substituindo 15 em 16, fica:

$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (17)$$

A equação 17 mostra que a frequência é diretamente proporcional à raiz quadrada da constante da mola e inversamente proporcional à raiz quadrada da massa. Isso significa que sistemas com molas mais rígidas ou massas menores oscilam mais rapidamente.

De acordo com (Thornton, 2012), Os sistemas atômicos podem ser descritos classicamente como osciladores lineares. Quando a luz de alta frequência incide sobre um

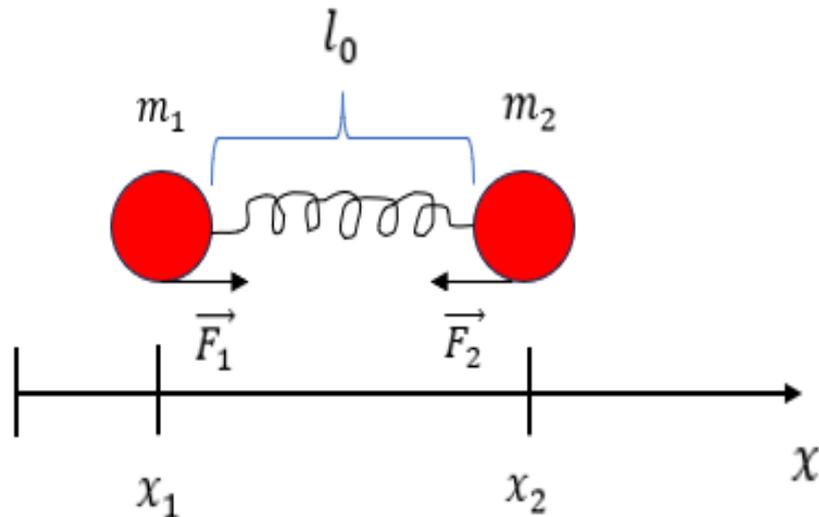
material, ela causa vibrações nos átomos e moléculas. Se a frequência da luz corresponde a uma das frequências ressonantes do sistema atômico ou molecular, a energia eletromagnética é absorvida, resultando em oscilações de grande amplitude nos átomos e moléculas. Na próxima sessão, discutiremos sobre vibrações moleculares.

5.1 Vibrações moleculares

Utilizando a mecânica newtoniana, é possível calcular as vibrações de uma molécula tratando as ligações como molas. Isso é útil porque, assim como uma mola, uma ligação necessita de energia tanto para ser esticada quanto para ser comprimida. A quantidade de energia necessária para esticar ou comprimir a ligação depende da rigidez da ligação e da massa reduzida, ou “centro de massa” dos dois átomos ligados.

Na figura abaixo (Figura 1), temos a configuração de um acoplamento de duas partículas conectadas por uma mola. Esse sistema pode ser uma molécula diatômica, como exemplo o gás oxigênio (O_2).

Figura 1 – Sistema de duas massas conectadas por uma mola de constante elástica k , ou seja, modelo para molécula diatômica.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Para pequenos deslocamentos em relação ao ponto de equilíbrio, teremos um comportamento do sistema (figura 1) como o de um oscilador harmônico simples, x_1 e x_2 são as posições das duas massas e l_0 é o comprimento da mola no equilíbrio. A posição relativa do sistema, figura 1, é dada pela seguinte coordenada relativa:

$$x = (x_2 - x_1) - l_0 \quad (18)$$

A equação 18 diz respeito o quanto a mola distendeu ou comprimiu. Analisando esta equação, se $(x_2 - x_1) - l_0 > 0$, a mola do sistema estará distendida e a força sobre a massa m_1 atuará no sentido positivo do eixo x ; se $(x_2 - x_1) - l_0 < 0$, a mola estará comprimida e a força sobre a massa m_1 atuará no sentido negativo do eixo x .

As forças que atuam sobre as moléculas de massas m_1 e m_2 é dada segundo a lei de Hooke, respectivamente por:

$$F_1 = k(x_2 - x_1 - l_0) \quad (19)$$

$$F_2 = -k(x_2 - x_1 - l_0) \quad (20)$$

O sistema está submetido a uma força de interação, logo temos: $F_1 = -F_2$ (Terceira Lei de Newton). Agora vamos reescrever as equações 19 e 20, respectivamente, ficam:

$$m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} = k(x_2 - x_1 - l_0) \quad (21)$$

$$m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} = -k(x_2 - x_1 - l_0) \quad (22)$$

Derivando duas vezes $x_2 - x_1 - l_0 = x$, a equação 18, sendo l_0 uma constante, ficará da seguinte forma:

$$\frac{d^2 x_2}{dt^2} - \frac{d^2 x_1}{dt^2} = \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (23)$$

Vamos multiplicar a equação 21 por m_2 e a equação 22 por m_1 , teremos reespectivamente:

$$m_1 m_2 \frac{d^2 x_1}{dt^2} = k(x_2 - x_1 - l_0) m_2 \quad (24)$$

$$m_1 m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} = -k(x_2 - x_1 - l_0) m_1 \quad (25)$$

Subtraindo a equação 25 com a 24, fica:

$$m_1 m_2 \left(\frac{d^2 x_2}{dt^2} - \frac{d^2 x_1}{dt^2} \right) = -k(x_2 - x_1 - l_0) (m_1 + m_2) \quad (26)$$

Substituindo as equações 18 e 23 na equação 26, vem:

$$\begin{aligned} m_1 m_2 \frac{d^2 x}{dt^2} &= -kx(m_1 + m_2) \\ \left(\frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \right) \frac{d^2 x}{dt^2} &= -kx \end{aligned} \quad (27)$$

Definindo a massa reduzida do sistema como:

$$\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \quad (28)$$

A massa reduzida μ , equação 28, é um conceito utilizado em problemas de física que envolve o movimento relativo de duas partículas (Thornton, 2012). É uma forma de simplificar a análise do sistema de duas partículas transformando-o em um problema de uma única partícula e é especialmente útil na mecânica clássica e na quântica, em problemas como a análise do movimento orbital e o oscilador harmônico (Thornton, 2012).

Agora, substituiremos a equação 28 na equação 27 e reescreveremos de outra forma mais simplificada:

$$\begin{aligned} \mu \frac{d^2 x}{dt^2} &= -kx \\ \mu \frac{d^2 x}{dt^2} + kx &= 0 \end{aligned} \quad (29)$$

Continuando, vamos dividir a equação 29 nos dois membros pela massa reduzida, temos:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{k}{\mu} x &= 0 \\ \frac{d^2 x}{dt^2} + \omega^2 x &= 0 \end{aligned} \quad (30)$$

A equação 30, é exatamente igual a equação 5 do OHS, onde a frequência angular do sistema é $\omega = \sqrt{\frac{k}{\mu}}$. Podemos concluir, de acordo com as demonstrações matemáticas, que o movimento de um sistema de duas massas conectadas por uma mola, ou seja, o seu modelo para molécula diatômica, é um oscilador harmônico simples quando fazemos o estudo considerando a distância entre as massas como variável dinâmica.

De acordo com Atkins (2011), a energia potencial elástica de uma molécula diatômica, considerando-a como um sistema de duas partículas conectadas por uma “mola” (modelo do oscilador harmônico), pode ser expressa em termos da posição relativa das partículas. Se l (onde $l = x_2 - x_1$) é a distância entre os dois átomos, l_0 é a distância de equilíbrio (a distância onde a energia potencial é mínima) e k é a constante de força da ligação (constante elástica), a energia potencial elástica $U(l)$ é dada por:

$$U = \frac{1}{2} k (l - l_0)^2 \quad (31)$$

A energia potencial elástica em uma molécula diatômica é um conceito fundamental na física e na química, pois descreve a interação entre os átomos constituintes em função da

distância entre eles. Essa energia pode ser representada por modelos como o potencial harmônico, que capturam a natureza da ligação química e as forças restauradoras quando os átomos são deslocados de suas posições de equilíbrio (Thornton, 2012). Compreender a energia potencial elástica é crucial para análise dos espectros vibracionais e determinação das constantes elásticas das moléculas.

Na próxima seção iremos abordar sobre o Ajuste de curvas, devido a importância de fazermos os ajustes das energias em função das distâncias de ligações das moléculas, em especial o Ajuste parabólico que é o parâmetro ideal para o estudo das oscilações moleculares.

6 AJUSTE DE CURVAS POR MÍNIMOS QUADRADOS

A técnica de ajuste de curvas, também conhecida como regressão, é uma ferramenta estatística amplamente utilizada em diversas disciplinas para analisar a relação entre variáveis. O principal objetivo do ajuste é encontrar uma função matemática que melhor descreva o padrão de um conjunto de dados observados. Isso permite modelar dados experimentais para fazer previsões, entender a natureza dos dados e, frequentemente, identificar a relação subjacente entre variáveis dependentes e independentes.

Existem várias abordagens para o ajuste de curvas, dependendo da natureza dos dados e do tipo de relação esperada. As técnicas mais comuns incluem regressão linear, regressão polinomial e regressão não-linear. Cada uma dessas técnicas possui características específicas e é escolhida com base na forma da curva que melhor se adapta aos dados.

De acordo com Montgomery (2013), a regressão linear é a forma mais simples de ajuste de curvas e assume que a relação entre a variável dependente y e a variável independente x pode ser descrita por uma linha reta. Este método é frequentemente utilizado quando há uma relação aproximadamente linear entre as variáveis. A equação da regressão linear é dada pela equação 32:

$$y = a + bx \quad (32)$$

Onde a é o intercepto e b é o coeficiente angular. O objetivo da regressão linear é encontrar a linha que minimiza a soma dos quadrados das diferenças entre os valores observados y_i e os valores previstos pela linha \hat{y}_i . Essa linha é conhecida como linha de melhor ajuste.

Em muitos casos, a relação entre as variáveis não pode ser descrita adequadamente por uma linha reta ou um polinômio. A regressão não-linear é utilizada para ajustar funções que são não-lineares nos parâmetros. A equação da regressão não-linear pode assumir várias formas, como exemplos as equações 34 e 35:

$$y = ae^{bx} \quad (33)$$

$$y = \frac{a}{1 + be^{cz}} \quad (34)$$

Esta técnica é mais complexa e geralmente requer métodos iterativos para encontrar a melhor aproximação da curva (Montgomery, 2013).

Montgomery (2013) ainda diz que o ajuste de curvas é uma ferramenta crucial em diversas áreas da ciência e engenharia. Na biologia, ajuda a modelar o crescimento populacional ou a resposta de organismos a estímulos. Na economia, é usado para prever tendências de mercado e analisar dados financeiros. Já na Física, por exemplo, pode ser utilizado para analisar dados experimentais e determinar constantes físicas (como exemplo a constante elástica de ligação de duas moléculas diatômicas).

Relativamente ao critério de ajuste, o mais utilizado é o dos mínimos quadrados. O conceito é encontrar a curva que minimiza a diferença quadrática entre os dados e a função de ajuste. Em símbolos:

$$\min \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2 \quad (35)$$

onde os n pontos (x_i, y_i) são ajustados pela função f .

Sem dúvidas, o ajuste necessário para utilizarmos em nosso estudo é o ajuste polinomial, em especial o parabólico - dada a forma da energia potencial elástica, cujo conceito será discutido na seção seguinte.

5.1 Ajuste polinomial parabólico

De acordo com Justos (2016), o ajuste polinomial é uma variação específica do ajuste linear aplicada a funções polinomiais, ou seja, funções da forma:

$$p_n(x) = a_0 + a_1x + \dots + a_nx^n \quad (36)$$

Para nosso caso em particular, interessa-nos o ajuste parabólico:

$$p_2(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 \quad (37)$$

Seguindo a discussão da seção anterior, dado um conjunto de n pontos $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), \dots, (x_n, y_n)$, a parábola que melhor se ajusta no sentido dos mínimos quadrados é tal que o resíduo quadrático R , definido como

$$R = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 x_i - a_2 x_i^2)^2 \quad (38)$$

seja mínimo. Os parâmetros a_0 , a_1 e a_2 são ajustáveis para esse fim. Dessa forma, para que R seja mínimo, é necessário que suas derivadas em relação aos parâmetros ajustáveis sejam nulas:

$$\frac{\partial R}{\partial a_0} = 0, \frac{\partial R}{\partial a_1} = 0, \frac{\partial R}{\partial a_2} = 0 \quad (39)$$

Assim, das equações (38) e (39), temos

$$\sum_{i=1}^n a_0 + a_1 \sum_{i=1}^n x_i + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i \quad (40a)$$

$$a_0 \sum_{i=1}^n x_i + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^3 = \sum_{i=1}^n x_i y_i \quad (40b)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i^2 a_0 + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^4 = \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i \quad (40c)$$

As equações (40) formam um sistema linear de equações para os parâmetros ajustáveis a_0 , a_1 e a_2 . Usando a notação de somatório, o sistema linear fica muito longo, portanto, vamos adotar uma notação enxuta definindo somatórios da seguinte forma:

$$S_x = \sum_{i=1}^n x_i, S_y = \sum_{i=1}^n y_i, S_{xx} = \sum_{i=1}^n x_i^2, S_{xy} = \sum_{i=1}^n x_i y_i \quad (41)$$

e similarmente para os demais somatórios, de forma que o sistema fica reescrito de maneira mais compacta como

$$n a_0 + S_x a_1 + S_{xx} a_2 = S_y \quad (42a)$$

$$S_x a_0 + S_{xx} a_1 + S_{xxx} a_2 = S_{xy} \quad (42b)$$

$$S_{xx} a_0 + S_{xxx} a_1 + S_{xxxx} a_2 = S_{xxy} \quad (42c)$$

cuja solução é bem simples, por se tratar de um sistema linear, mas bastante extensa, e não será mostrada explicitamente aqui. Uma quantidade muito importante no estudo de ajuste de curvas é o coeficiente de determinação, r^2 , definido como

$$r^2 = 1 - \frac{R}{S} \quad (43)$$

onde R é o resíduo quadrático dado em (38) e S é a soma total dos quadrados em torno da média:

$$S = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (44)$$

O coeficiente de determinação r^2 varia entre 0 (a curva não ajusta em nada os dados em comparação com a média aritmética) e 1 (a curva ajusta perfeitamente os dados).

Para nosso caso do estudo das oscilações moleculares, vamos reescrever a curva de ajuste para uma forma mais próxima à da equação (31):

$$y = \frac{1}{2}k(x - x_0)^2 \quad (45)$$

Fazendo-se $a_0 = \frac{1}{2}kx_0^2$, $a_2 = -kx_0$ e $a_3 = \frac{1}{2}k$. Com esse formato (45), os parâmetros ajustáveis são k e x_0 , que já ficam prontos para serem interpretados como a constante de mola e o comprimento da ligação, respectivamente.

No próximo capítulo iremos utilizar os ajustes de curvas para energia de oscilações em função da distância interatômica da molécula utilizando o recurso educacional Desmos que será de grande utilidade para o desenvolvimento deste estudo.

7 METODOLOGIA

Esta seção descreve os procedimentos metodológicos empregados no presente estudo, abordando tanto a caracterização da pesquisa em termos de seus fins e meios, quanto à definição da população e das unidades de observação e análise. Também são descritos os instrumentos utilizados para a coleta de dados e, por fim, a estratégia adotada para a análise dos dados obtidos.

Em relação aos objetivos, esta pesquisa é classificada como exploratória, pois, segundo Gil (2008), a pesquisa exploratória tem como finalidade proporcionar maior familiaridade com o problema, tornando-o mais explícito ou construindo hipóteses. Assim, mesmo com uma amostra reduzida, esse tipo de estudo pode fornecer informações valiosas para pesquisas futuras. Segundo Richardson (2008), o método exploratório costuma envolver questionários simples e uma amostra que não precisa ser representativa. Os achados dessa pesquisa possibilitam ajustes no planejamento para estudos futuros mais detalhados sobre o assunto. No que se refere aos métodos, foi adotado o estudo de caso, uma vez que o foco da pesquisa foi em uma escola da rede pública estadual, em São Luís-MA, com alunos do segundo ano do Ensino Médio. De acordo com Vergara (2004), o estudo de caso se restringe a uma ou poucas unidades.

Para definir o perfil dos estudantes envolvidos na verificação do subunçor dos mesmos, foi utilizada uma abordagem quantitativa, aplicada por meio de um questionário com 5 questões de múltipla escolha com três alternativas sendo uma correta, possibilitando a quantificação dos dados, além de permitir análises e classificação mais detalhadas, essa abordagem foi escolhida porque de acordo com Gil (2008), essa técnica de pesquisa, que envolve a apresentação de perguntas por escrito aos participantes que permite identificar conhecimentos, opiniões, crenças, sentimentos, interesses, expectativas, experiências vividas, entre outros aspectos.

O questionário quantitativo foi aplicado, na primeira etapa, a 33 alunos presentes em uma turma de 45 estudantes matriculados do segundo ano do Ensino Médio. Ele visa identificar o nível de conhecimento prévio dos alunos sobre sistemas físicos que se comportam como osciladores. O questionário foi composto por perguntas fechadas que investigam a familiaridade dos estudantes com o tema oscilações, e pautará com as perguntas que se encontra no Apêndice B.

O questionário foi entregue para os discentes na sala de aula de forma impressa no momento da aula da disciplina Aprofundamento I de Física. Apenas um professor (de Física)

ficou observando os alunos, os mesmos fizeram de maneira individual. O conjunto de perguntas permitiu um diagnóstico detalhado dos conceitos prévios dos alunos, facilitando a adaptação das aulas e atividades práticas conforme suas necessidades e níveis de entendimento.

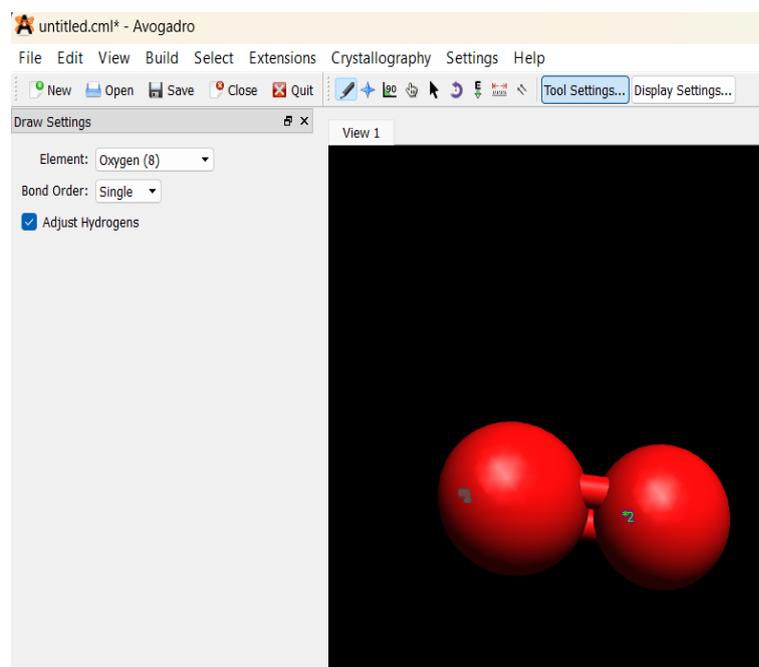
Após a aplicação e análise do primeiro questionário, em outros dias, foram dados nove aulas sobre o tema Oscilador Harmônico Simples com o objetivo de aprofundar conceitos sobre a temática. Mostramos o que é esse tipo de oscilação, as características e alguns exemplos de oscilações do tipo MHS (Movimento Harmônico Simples), como pêndulo simples, sistema massa mola e oscilações de moléculas diatômicas (H_2 , O_2 e N_2). Após cada uma das aulas expositivas e dialogadas, realizamos atividades qualitativas através de resoluções de lista de exercícios.

Ao Iniciar a aplicação do produto, foi necessário a criação de dois grupos de alunos: Grupo teste e grupo controle. Para isto, a critério do professor, alguns alunos que tiveram um bom desempenho (de 4 a 5 acertos) ou um desempenho insatisfatório (de 0 a 2 acertos) no questionário inicial, e que apresentaram uma boa assiduidade em sala de aula, participaram do uso dos softwares Avogadro e Desmos para verificar variáveis físicas das oscilações moleculares, como distância interatômica, energia de vibração, ajuste de curvas e constante elástica de ligação das moléculas. Os demais alunos, que não tiveram contato com o recurso educacional, realizaram atividades sobre o tema Movimento Harmônico Simples (MHS), por meio de questões discursivas. Foi observado qualitativamente o nível de interesse desses estudantes (tanto aqueles que utilizaram os recursos tecnológicos quanto os que fizeram somente as atividades na folha impressa).

A observação relatada do parágrafo anterior será participante, de acordo com Chizzoto (2001) a observação participante acontece através do contato direto do pesquisador com o fenômeno observado, com o objetivo de registrar as ações dos participantes em seu ambiente natural, levando em conta suas perspectivas e pontos de vista.

A escolha dos dois programas serviram como recursos educacionais, pelas quais foram aplicados ao grupo teste, se justifica por sua capacidade de proporcionar uma visualização interativa e intuitiva dos fenômenos estudados, para poder facilitar a compreensão dos estudantes. Nas atividades práticas com o programa Avogadro, utilizamos para gerar as moléculas e realizar a dinâmica molecular, como por exemplo a molécula de oxigênio, mostrada na Figura 2.

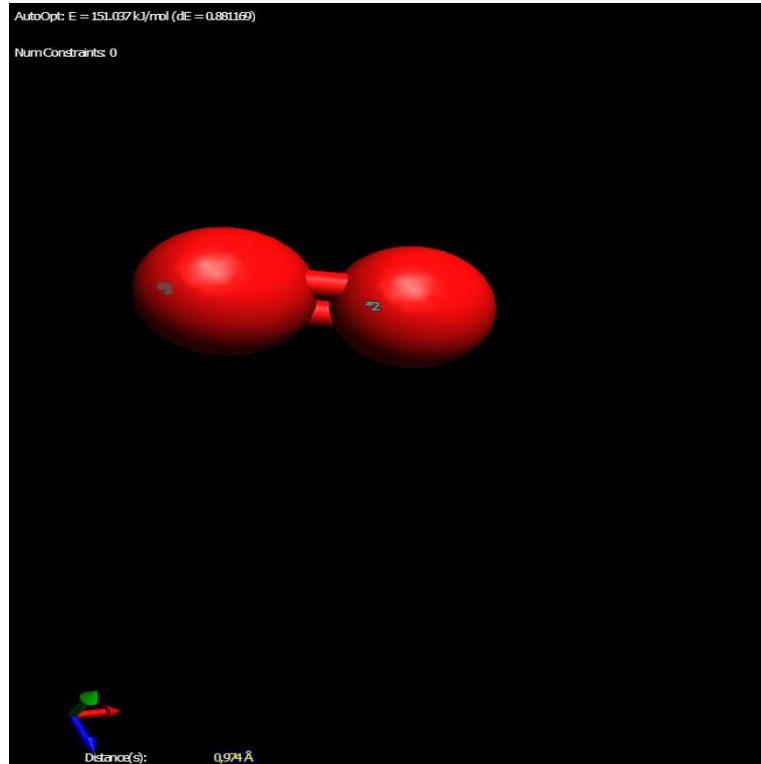
Figura 2 – Uma molécula de oxigênio gerada pelo programa Avogadro.



Fonte: Aatoria própria, 2025.

Depois de montada a molécula, fez-se a otimização para que ela atingisse o comprimento de ligação de equilíbrio. O próprio programa Avogadro possui várias ferramentas de otimização. Como o nosso foco é na modelagem, como um dos recursos pedagógicos, de uma molécula diatômica por um oscilador harmônico simples, omitiremos os detalhes da otimização feita pelo programa. Seguidamente, fazemos um pequeno deslocamento e executa-se a dinâmica molecular. A captura de tela ajudou a encontrar a posição e energia instantâneas. Como exemplo de resultado desse procedimento, temos a Figura 3:

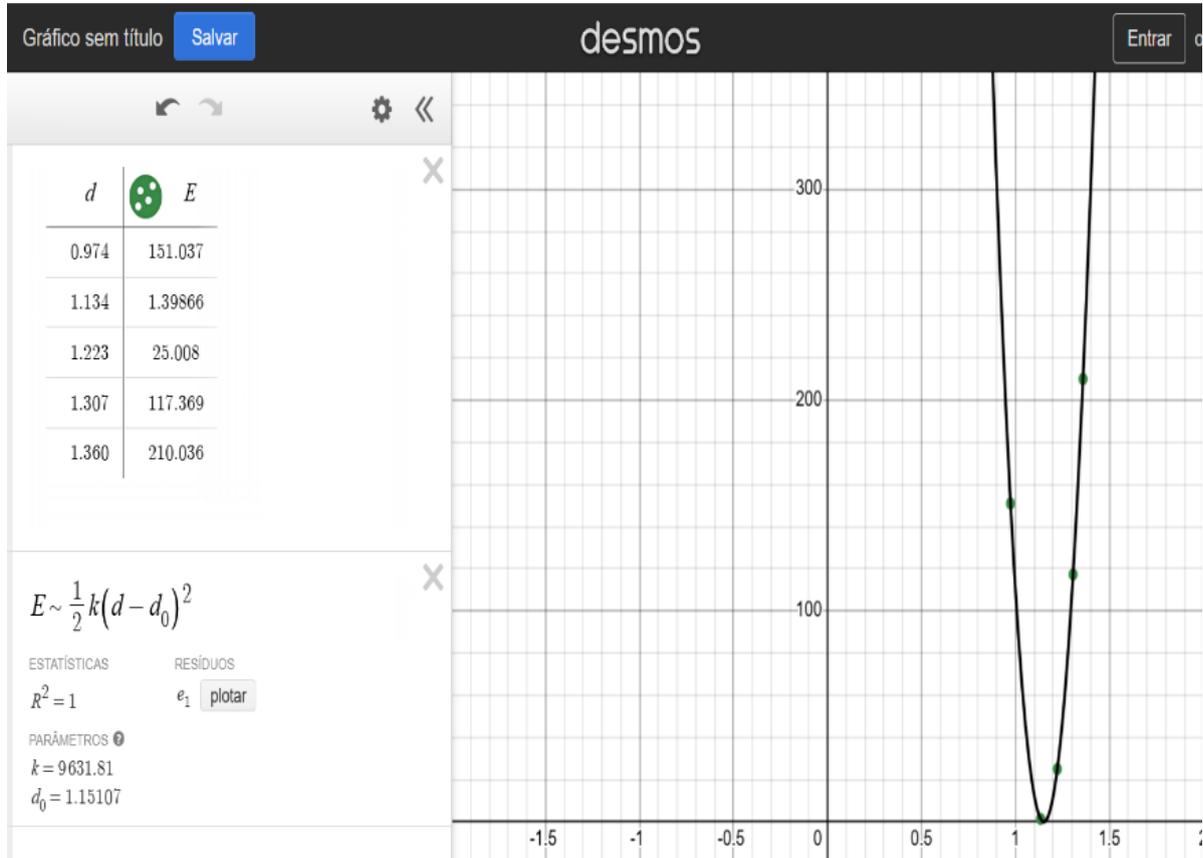
Figura 3 – molécula de oxigênio otimizada (temperatura de 300 K) , distância dos dois átomos de oxigênio igual a 0,974 Å e energia de ligação igual a 151,037 kJ/mol.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Com a dinâmica molecular do átomo de oxigênio em ação (submetido a uma temperatura de 300 K), capturamos na tela do computador (*prints screens*) instantaneamente mais valores das energias e distâncias interatômicas e, com esses dados, os estudantes utilizaram para fazer os ajustes de curvas na calculadora gráfica online Desmos (Figura 4). Explorando uma série de comandos simples completamente inteligíveis, o discente do Ensino Médio, conseguiu determinar a constante de mola da ligação química do O₂. Ele fez esse mesmo procedimento para as moléculas de H₂ (hidrogênio) e N₂ (nitrogênio).

Figura 4 – Tela do Desmos (*desktop*) com o gráfico dos dados (distâncias interatômicas e energias) coletados do software Avogadro da dinâmica molecular do O₂ e o ajuste de curvas para o oscilador harmônico simples.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Para verificar se houve eficácia no uso dos recursos educacionais (*softwares*) aplicados em sala de aula, realizamos análises quantitativa e qualitativa durante todo o processo de desenvolvimento deste trabalho. Na avaliação quantitativa:

- Notas de avaliações: Comparação das notas das avaliações pré e pós implementação dos recursos.
 - Grupos controle e teste: Comparação entre o desempenho de um grupo que utilizou o recurso e outro que não utilizou.

Já na avaliação qualitativa será observado:

- Interesse no assunto: A aplicação de questionário e entrevistas para avaliar o aumento do interesse dos alunos pelo tema.
 - Preferência pela inovação: Questionou-se sobre sua preferência pelo uso dos recursos computacionais em comparação com os recursos tradicionais (fazer questões impressas, decorar fórmulas ou conceitos).

As etapas acima (veja no apêndice A a agenda detalhada dos trabalhos), descritas permitem não apenas a verificação da eficácia da metodologia aplicada, mas também

proporcionará uma base sólida para a construção de novos conhecimentos pelos alunos, de acordo com a teoria de Ausubel. Esta metodologia visa promover uma aprendizagem significativa, onde os novos conceitos são integrados de maneira lógica e coerente aos conhecimentos pré-existentes dos estudantes. Ao final de todo este trabalho, foi confeccionado um manual prático (produto educacional) para o estudo de oscilações moleculares, o qual ajudará os professores de Física do segundo 2º ano do Ensino Médio a darem aulas mais contextualizadas sobre o assunto Movimento Harmônico Simples.

8 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Iremos mostrar nesta seção como foram utilizados os recursos didáticos para ensinar MHS, de forma que o estudo seja mais significativo e abrangente para os estudantes do 2º ano do Ensino Médio.

Começamos pela aplicação do questionário para verificar o conhecimento prévio dos alunos. Depois, foi ministrado aulas sobre o tema Movimentos Oscilatórios, dividindo o conteúdo em nove aulas com os seguintes tópicos: movimento periódico, movimento harmônico simples, energia no MHS, funções horárias do MHS, pêndulo simples e movimentos vibracionais moleculares.

Em seguida, após a exposição dos conceitos, foi aplicada uma lista de questões qualitativas para o grupo controle. Já para o grupo teste, foi feito o uso dos programas *Desmos* e *Avogadro* para o estudo do MHS das moléculas diatômicas H_2 , O_2 e N_2 .

Por fim, foi aplicado um questionário final para verificar o avanço da turma e comparar o desempenho do grupo controle com o do grupo teste em caráter exploratório para termos uma noção dos avanços dos grupos analisados. Veremos os procedimentos nas subseções a seguir.

8.1 Encontros e procedimentos feitos com a turma em sala: Primeiro dia

No primeiro encontro com a turma, Figuras 5 e 6, foi aplicado um questionário (Apêndice B) impresso com 5 perguntas com 3 alternativas objetivas cada, com o intuito de verificar o nível de conhecimento prévio sobre o tema Movimento Oscilatório.

Figura 5 - Professor aplicando o questionário diagnóstico.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 6 - Alunos respondendo o questionário diagnóstico.



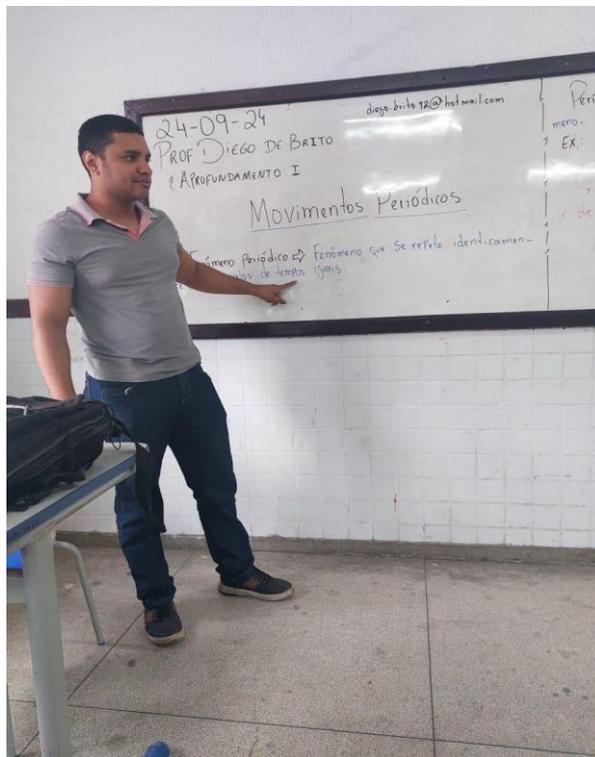
Fonte: Autoria própria, 2025.

8.2 Encontros e procedimentos feitos com a turma em sala: segundo dia ao décimo dia de aula.

Após a correção da avaliação diagnóstica, constatou-se que apenas 6% (2 alunos) dos 33 estudantes da turma em análise tiveram 100% de acertos no questionário I, isto mostra que poucos alunos tinham conhecimentos básicos satisfatórios, com isso foi importante abordar no primeiro momento o assunto através de aulas expositivas para que o restante dos alunos conheçam mais a respeito do assunto e fazer o aprofundamento da temática.

A Figura 7 mostra o docente abordando a primeira aula: Movimentos Oscilatórios: Movimentos Periódicos.

Figura 7 - Aula introdutória sobre Movimentos Periódicos.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Os alunos do grupo teste, (Figura 8), após modelarem as moléculas diatômicas H_2 , O_2 e N_2 , realizaram operações de oscilações através do Avogadro e obtiveram as energias de ligação e as distância interatômicas.

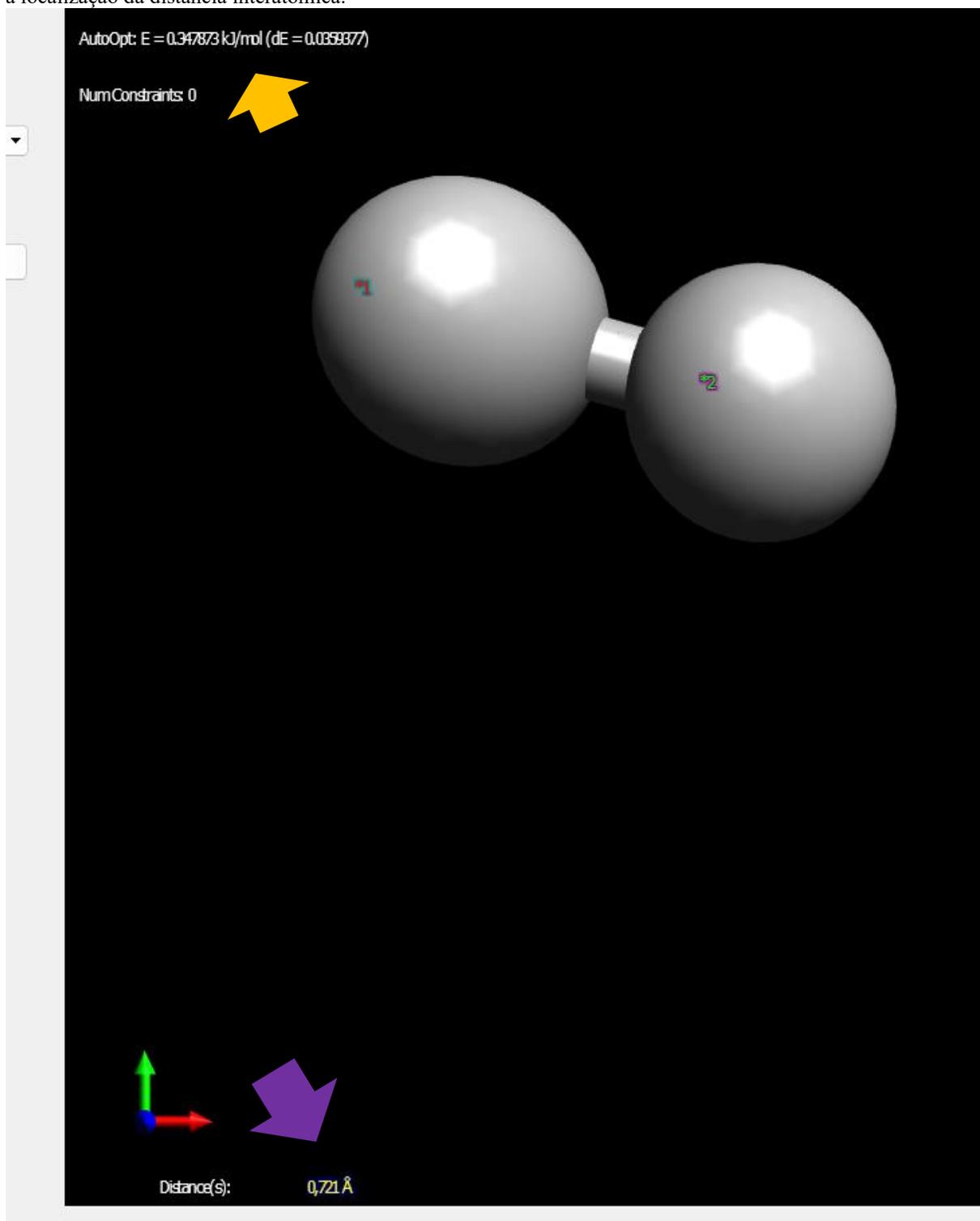
Figura 8 - Estudantes do grupo teste fazendo uso do Programa Avogadro e ao fundo o grupo controle respondendo a atividade de fixação que está no anexo apêndice C.



Fonte: Autoria própria, 2025.

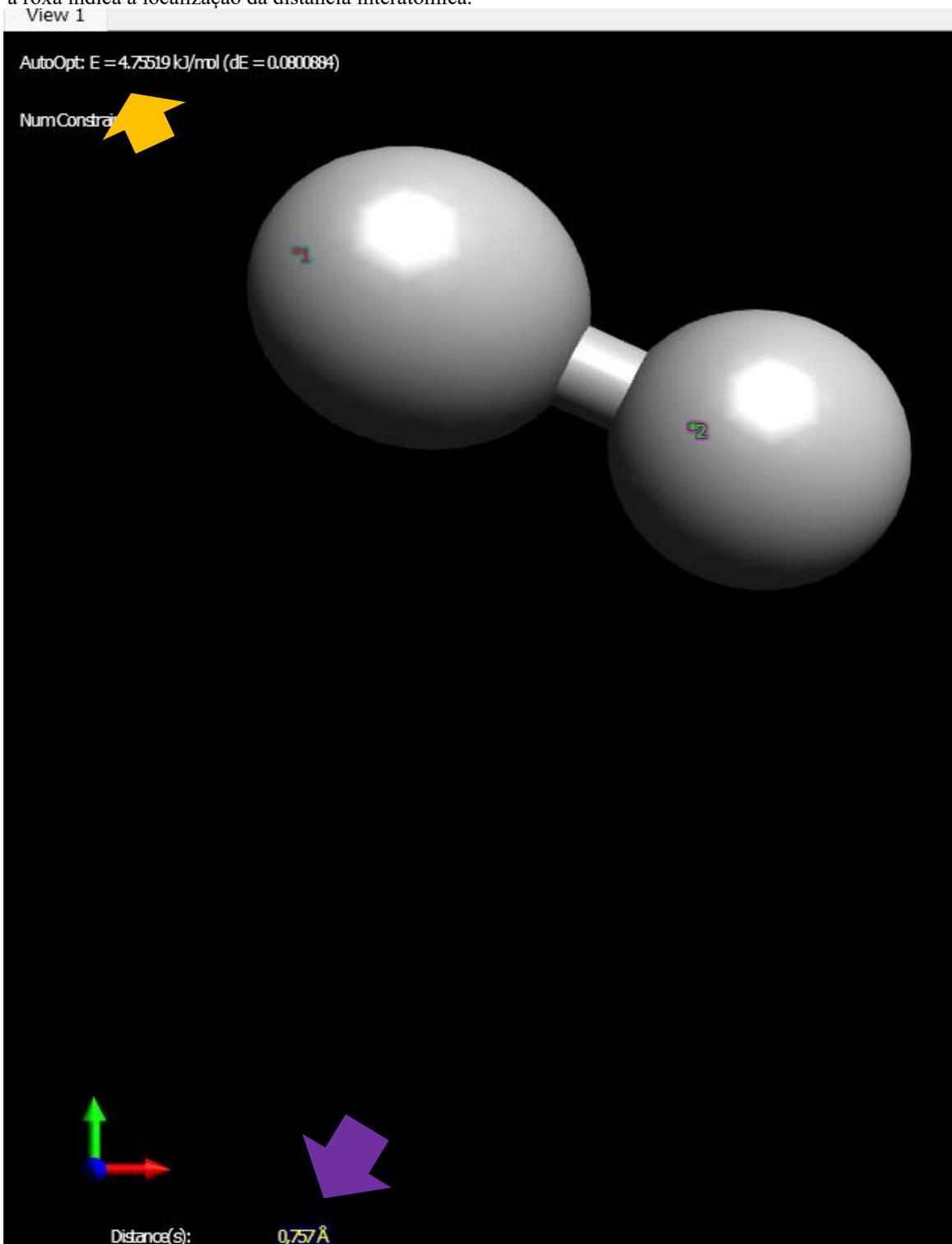
As Figuras 9 e 10 mostram, a título de ilustração, capturas de tela do Avogadro para a molécula de H₂, destacando a localização da informação sobre a energia de ligação E (seta amarela) e a distância interatômica d (seta roxa). Esse procedimento foi realizado 10 vezes para capturar diferentes energias para diferentes distâncias interatômicas.

Figura 9 – Instantâneo da molécula H_2 oscilando. A distância interatômica vale $d = 0,721 \text{ \AA}$ para uma energia de ligação $E = 0,347873 \text{ kJ/mol}$. A seta amarela indica a localização da energia total, enquanto que a roxa indica a localização da distância interatômica.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 10 – Instantâneo da molécula H_2 oscilando. A distância interatômica vale $d = 0,757 \text{ \AA}$ para uma energia de ligação $E = 4,75519 \text{ kJ/mol}$. A seta amarela indica a localização da energia total, enquanto que a roxa indica a localização da distância interatômica.



Fonte: Autoria própria, 2025.

As Figuras 11 e 12 mostram os estudantes realizando a inserção dos dados obtidos pelas capturas de tela do programa Avogadro na calculadora gráfica Desmos. Note que na Figura 11 mostra o uso do computador (versão *desktop* do Desmos) enquanto que na Figura 12 temos exemplos do uso do celular, uma facilidade que o Desmos proporciona na atividade.

Figura 11 - Aluno fazendo uso do programa Desmos através do notebook , as informações que foram anotadas do Avogadro no caderno são colocadas no programa gráfico.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 12 - Alunos fazendo uso do programa Desmos através do celular, as informações das moléculas que foram anotadas do Avogadro no caderno são colocadas no programa gráfico.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Abaixo estão as capturas de tela (Figuras 13 a 21) feitas pelos alunos no aplicativo Desmos com as informações coletadas pelo Avogadro: Tabela da distância interatômica d e energia pontencial elástica E (Figuras 13, 16 e 19), constante elástica k_0 , distância de equilíbrio da molécula d_0 (Figuras 14, 17 e 20) e o gráfico ajustado da $E \times d$ (Figuras 15, 18 e 21).

Para a molécula diatômica H_2 .

Figura 13 - Captura de tela no Desmos da distância interatômica versus energia de ligação do H_2 .

d	E
0.721	0.347873
0.757	4.75519
0.719	0.256235
0.763	5.99879
0.688	0.816948
0.768	7.26036
0.648	7.05184
0.745	2.75965
0.685	1.07462
0.672	2.51597

Fonte: Autoria própria, 2025.

As distâncias de ligação do H_2 na figura 13, estão próximas do seu valor médio 74,114 pm (ou 0,74114 Å), de acordo com Neta (2025), descrita no capítulo 4.

Figura 14 - Fórmula da energia de ligação da molécula diatômica para regressão quadrática no Desmos para a molécula de H_2 e resultado do ajuste parabólico.

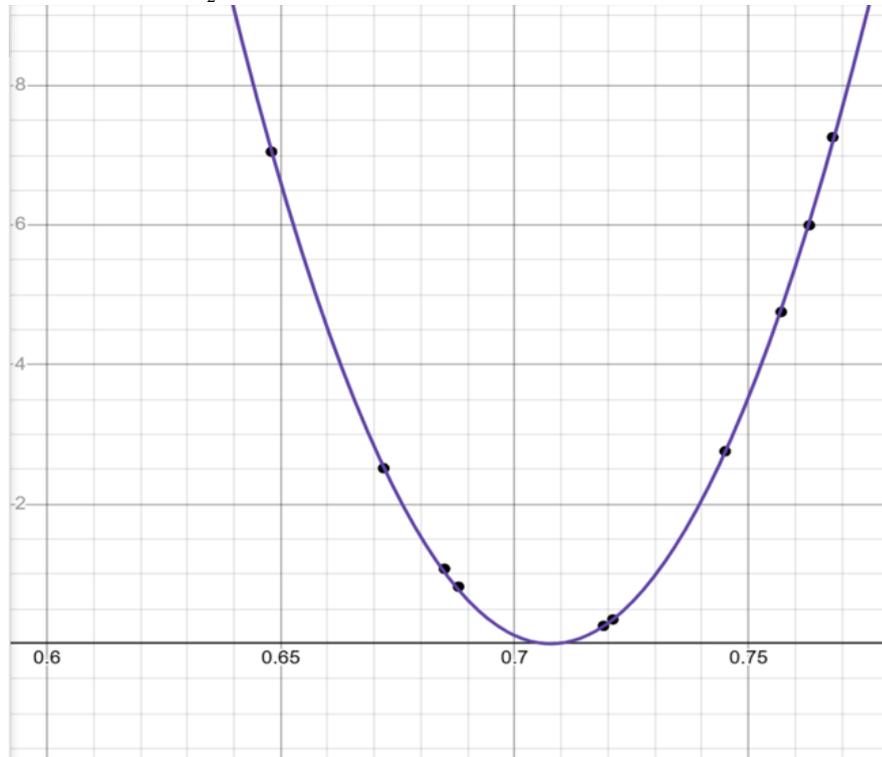
$$E \sim \frac{1}{2} k (d - d_0)^2$$

PARÂMETROS DE REGRESSÃO ⓘ

$$k = 3960.01 \quad d_0 = 0.707756$$

Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 15 - Gráfico gerado e ajustado no Desmos da energia de ligação em função da distância interatômica do H_2 .



Fonte: Autoria própria, 2025.

Para a molécula diatômica O_2 :

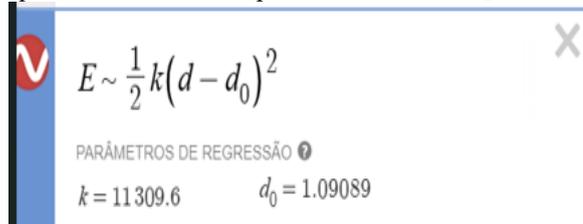
Figura 16 - Captura de tela no Desmos da distância interatômica *versus* energia de ligação do O_2 .

d	E
1.165	31.0708
1.053	8.02588
1.005	41.7262
1.140	13.8056
1.155	23.0077
1.154	22.5044
1.169	34.5663
1.104	1.0067
1.080	0.655142
1.012	35.2257

Fonte: Autoria própria, 2025.

As distâncias de ligação do O₂ na figura 16, estão próximas do seu valor médio 120,74 pm (ou 1,2074 Å), de acordo com Neta (2025), descrita no capítulo 4.

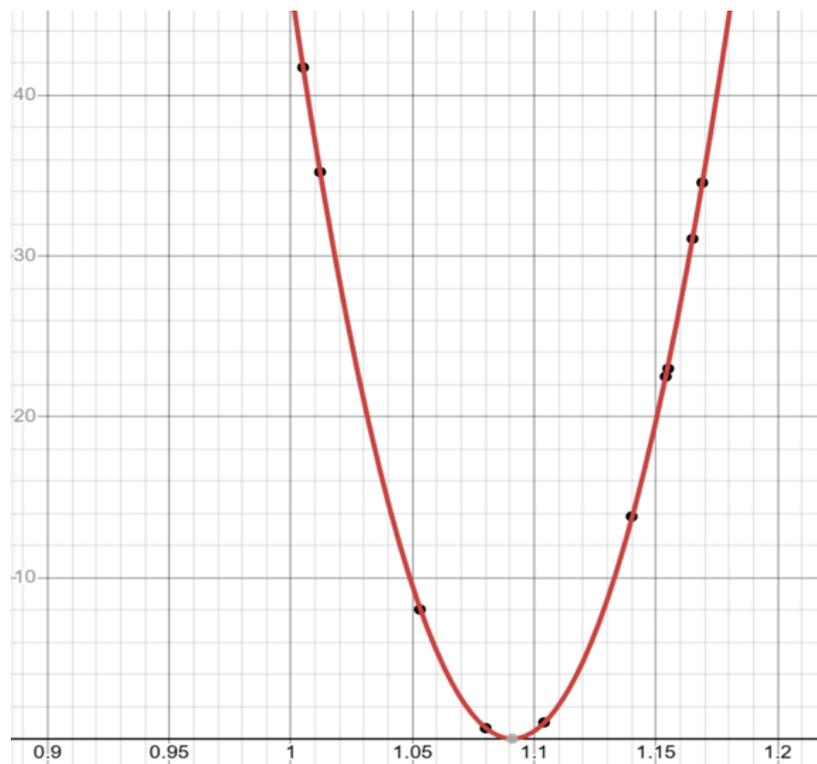
Figura 17 - Fórmula da energia de ligação da molécula diatômica para regressão quadrática no Desmos para a molécula de O₂ e resultado do ajuste parabólico.



$$E \sim \frac{1}{2}k(d - d_0)^2$$
 PARÂMETROS DE REGRESSÃO ⓘ
 $k = 11309.6$ $d_0 = 1.09089$

Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 18 - Gráfico gerado e ajustado no Desmos da energia de ligação em função da distância interatômica do O₂.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Para a molécula diatômica N_2 :

Figura 19 - Captura de tela no Desmos da distância interatômica versus energia de ligação do N_2 .

d	E
1.110	0.595468
1.207	48.9671
1.133	1.0426
1.203	44.4088
1.134	1.27967
1.060	23.4428
1.023	60.7105
1.063	20.7594
1.157	8.92636
1.116	0.11235

Fonte: Autoria própria, 2025.

As distâncias de ligação do N_2 na figura 19, estão próximas do seu valor médio $109,77 \text{ pm}$ (ou $1,0977 \text{ \AA}$), de acordo com Neta (2025), descrita no capítulo 4.

Figura 20 - Fórmula da energia de ligação da molécula diatômica para regressão quadrática no Desmos para a molécula de N_2 e resultado do ajuste parabólico.

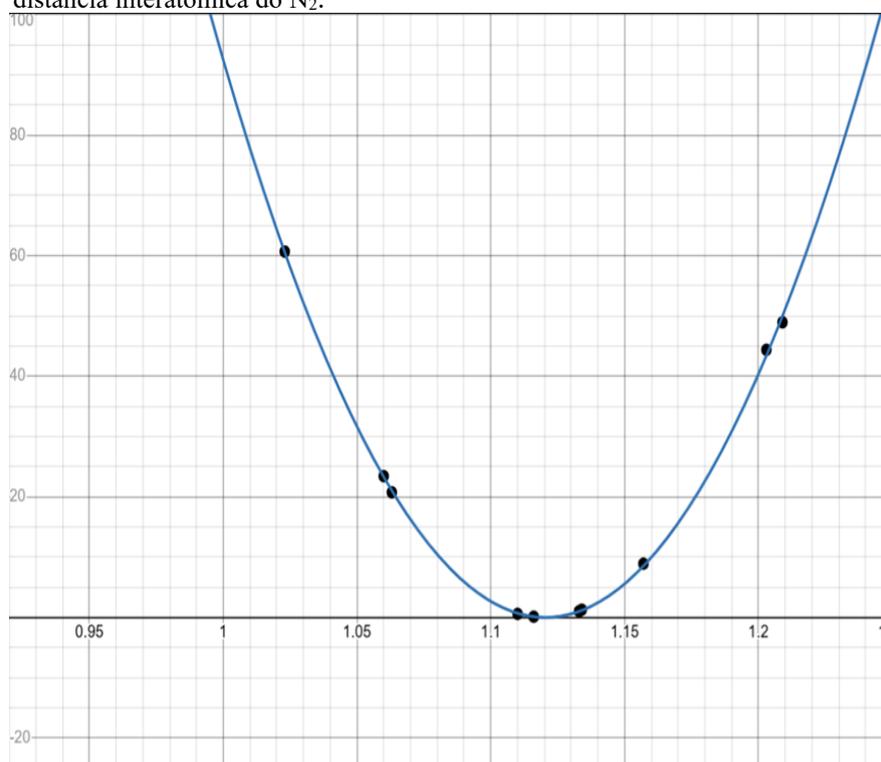
$$E \sim \frac{1}{2} k (d - d_0)^2$$

PARÂMETROS DE REGRESSÃO ⓘ

$k = 12753.4$ $d_0 = 1.12045$

Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 21 - Gráfico gerado e ajustado no Desmos da energia de ligação em função da distância interatômica do N_2 .



Fonte: Autoria própria, 2025.

Seguindo o planejamento proposto, após a atividade com os programas Avogadro e Desmos, 34 alunos presentes (dos 45 matriculados da turma) responderam a um questionário final. A Figura 22 mostra o registro dessa atividade.

Figura 22 - Avaliação final sendo aplicada na turma.



Fonte: Autoria própria, 2025.

9 RESULTADOS

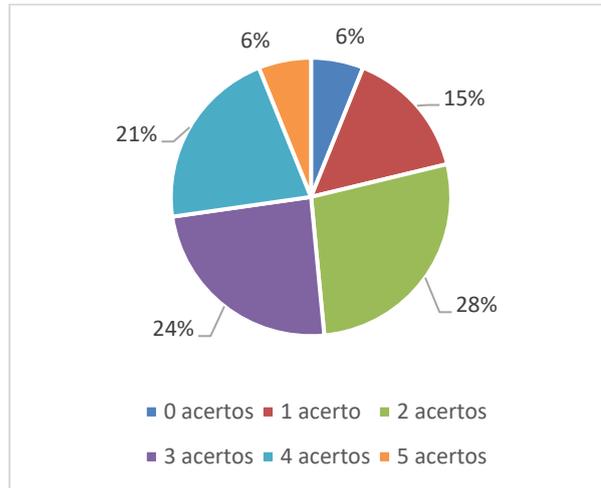
Este trabalho foi realizado nas aulas da disciplina de Aprofundamento I de Física, em uma turma constituída por 45 alunos (com idade média de 16 anos), matriculados no 2º ano do Ensino Médio em uma escola da rede pública estadual, localizada em São Luís-MA, no ano de 2024. A turma era bastante tranquila para se ministrar aula devido ao comportamento dos alunos, porém boa parte dos estudantes não eram engajados por alguns fatores, como: matricularam-se no itinerário formativo (turma de Ciências Exatas) por indisponibilidades de vagas nos itinerários de sua preferência (Humanas, Linguagens e Saúde); uso indevido do celular; e os frequentes atrasos no primeiro horário (em média tínhamos 20 a 25 alunos assistindo as aulas).

Ao propor para turma que iríamos trabalhar com uma metodologia diferente (aula associada ao uso de programas computacionais), alguns estudantes demonstraram interesse mesmo mediante o oferecimento de pontuação na nota da disciplina. Deste modo, apresentaremos a seguir a evolução da turma utilizando as notas obtidas como parâmetro. Para isto, é válido lembrar que a turma foi dividida em dois grupos: o teste e o controle.

Infelizmente, devido alguns fatores, foram escolhidos apenas 4 alunos para o grupo teste. Motivos: Recusa de alguns alunos a participarem das atividades, a não disponibilidade do laboratório de informática e alguns alunos não tinham celular e/ou *internet*. A seleção deste grupo foi de acordo com os critérios de inclusão e exclusão descritos na metodologia. São eles, quatro alunos sendo 2 do sexo feminino e 2 do sexo masculino. Deste modo, iniciamos a

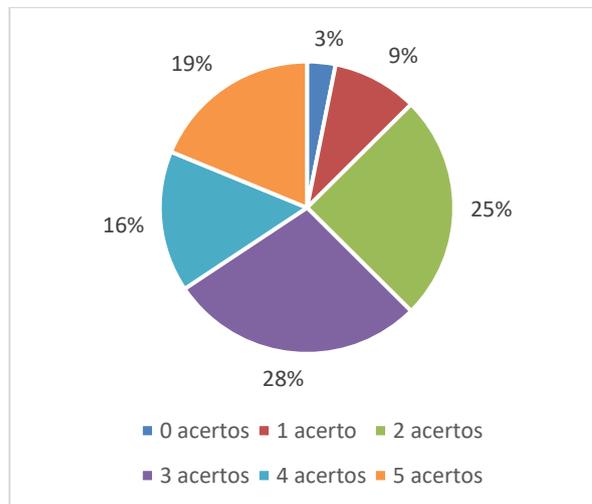
apresentação dos dados do primeiro questionário. Nos gráficos 1 e 2 foram realizadas perguntas acerca dos conceitos básicos sobre a OHS para toda a turma cujas respostas foram parecidas, sendo o questionário 1 aplicado antes das aulas e o questionário 2, no final de todo processo.

Gráfico 1: Número de acertos no questionário 1.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Gráfico 2: Número de acertos no questionário 2.



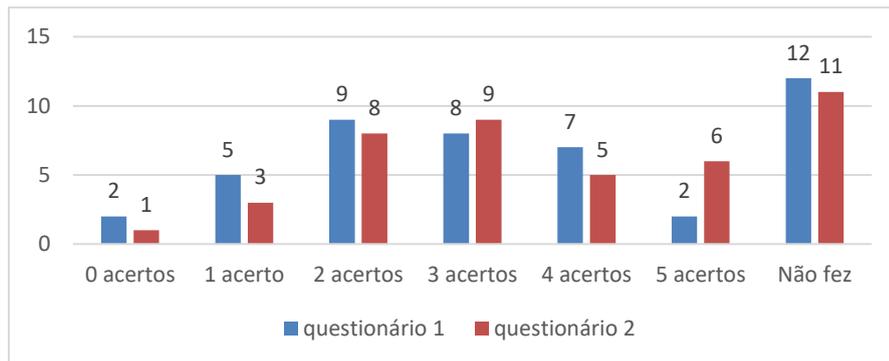
Fonte: Autoria própria, 2025.

Tendo em mente que na metodologia foi definido o desempenho como bom (de 4 a 5 acertos) ou insatisfatório (de 0 a 2 acertos), houve uma redução de alunos com baixo desempenho entre o primeiro e o segundo questionário. Vale ressaltar que, na primeira aplicação 12 alunos não compareceram, já na segunda, 11 não compareceram, não influenciando no resultado da amostra.

Ao compararmos a frequência de acertos, a média ponderada para o questionário 1

foi de 2,58 acertos e para o questionário 2 foi de 3,00 acertos. Quando analisamos, a frequência de acertos percebe-se que na primeira avaliação, os alunos com 3 acertos ou mais correspondeu a 37,78% da turma, já na segunda avaliação representou 44,44%, deste modo, houve uma melhora de aproximadamente 6,66% no rendimento da turma, considerando o número de alunos que alcançaram a nota satisfatória entre as duas avaliações, como vemos no gráfico 3.

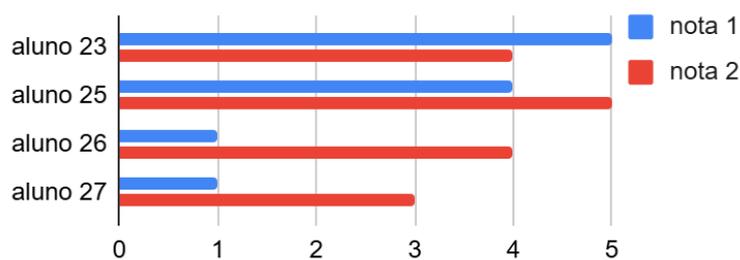
Gráfico 3: Comparativo de acertos entre os questionário 1 e 2.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Para analisarmos o desenvolvimento dos alunos do grupo teste posterior a aplicação do produto, comparamos os acertos obtidos no primeiro e no segundo questionário. No primeiro questionário os alunos do grupo teste percebemos que houve uma considerável melhora da nota, conforme apresentado no gráfico 4. Sendo confirmado pela média ponderada de ambas as avaliações.

Gráfico 4: Evolução de notas dos alunos pertencentes ao grupo teste.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Utilizando a Equação 44, determinaremos as seguintes médias ponderadas das provas 1 e 2, respectivamente:

$$M_p = \frac{p_1 \cdot x_1 + p_2 \cdot x_2 + \dots + p_n \cdot x_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} \quad (44)$$

Média ponderada da prova 1:

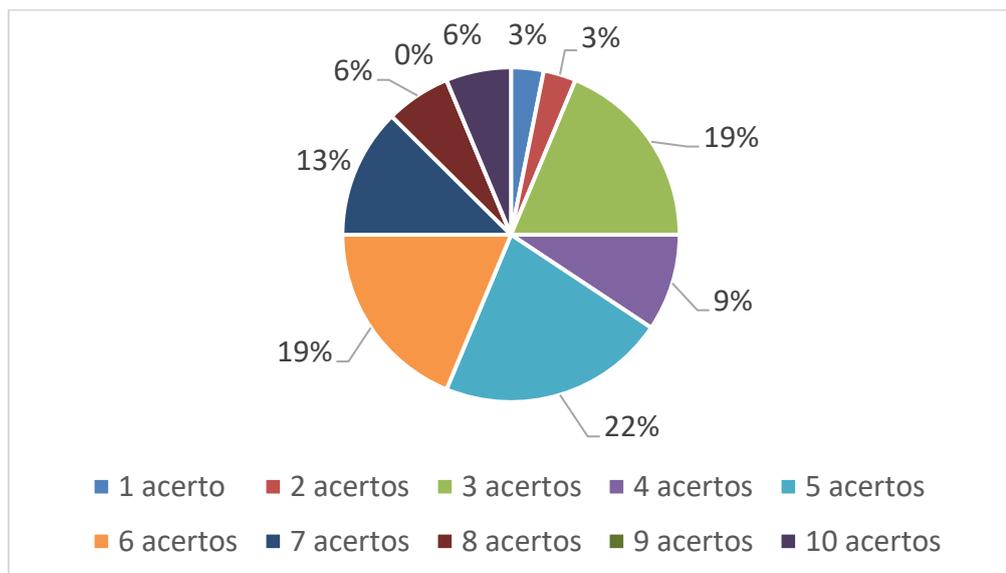
$$M_{p1} = \frac{1.5 + 1.4 + 2.1}{1 + 1 + 2} = 2,75 \quad (45)$$

Média ponderada da prova 2:

$$M_p = \frac{1.5 + 2.4 + 1.3}{1 + 2 + 1} = 4 \quad (46)$$

Quando analisamos as notas da avaliação final da disciplina (Gráfico 5), contendo 10 questões, percebe-se que 44% da turma obteve nota a partir de 6 pontos, atingindo ou superando a média adotada para aprovação no sistema educacional estadual, é importante frizar que nenhum aluno zerou a avaliação.

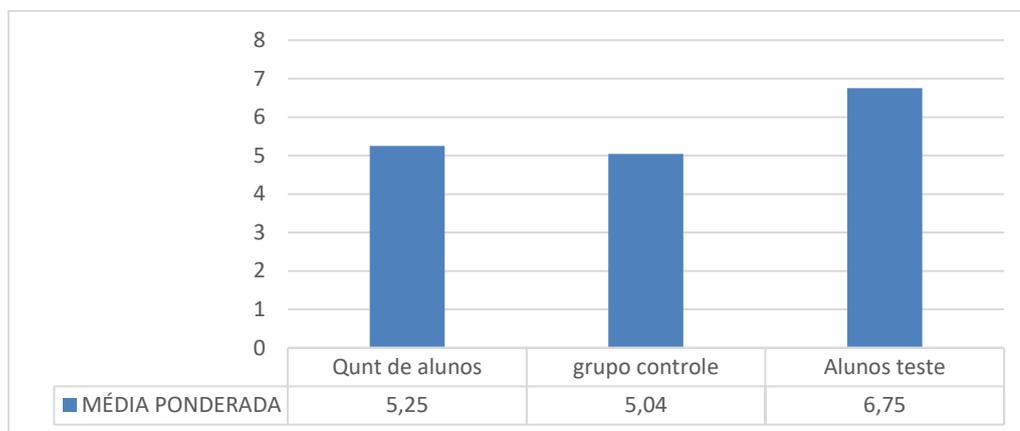
Gráfico 5: Distribuição de notas obtidas na avaliação final da disciplina Aprofundamento I.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Continuando a análise de desempenho após o uso dos softwares de simulação, ao comparar as notas do grupo controle e do grupo teste, é perceptível a diferença no desempenho dos mesmos. Visto que, a média ponderada do grupo teste é maior que o controle. Conforme apresentado no Gráfico 6, a média ponderada da turma foi 5,25; enquanto o grupo controle foi 5,04 e dos alunos testes foi 6,75.

Gráfico 6: Distribuição de médias ponderadas da avaliação final, por grupos.

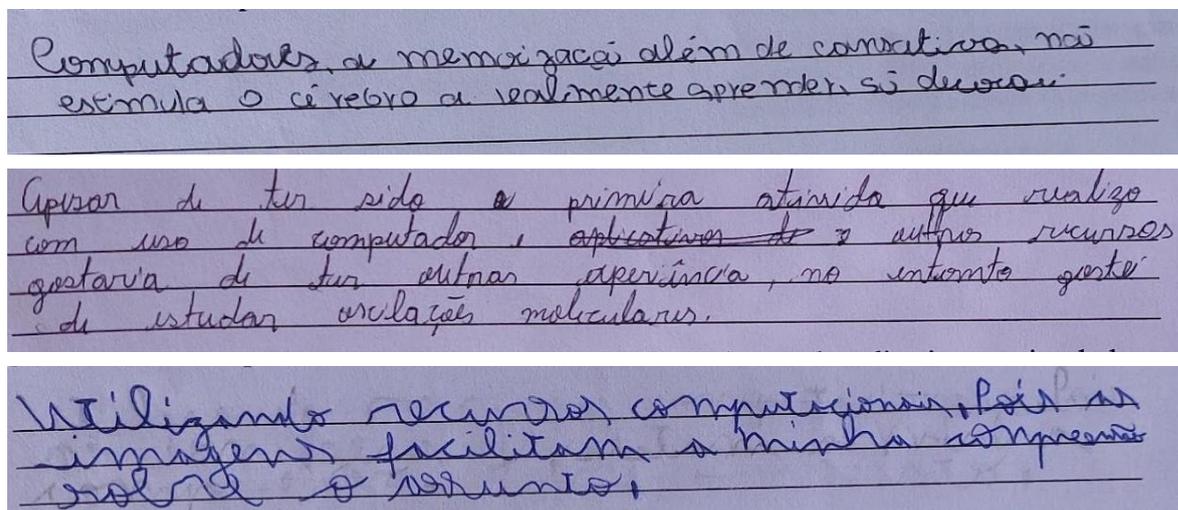


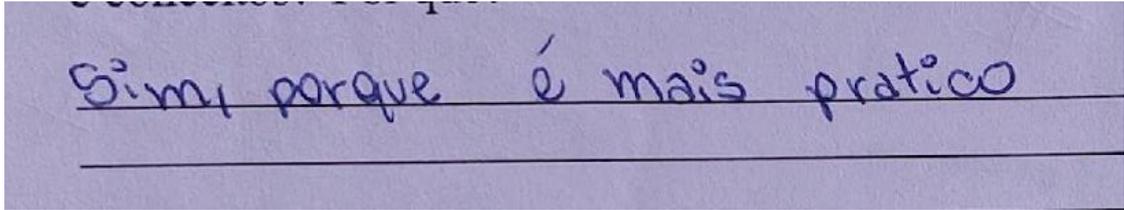
Fonte: A autoria própria, 2025.

Para compreender a percepção dos alunos quanto ao uso da metodologia com uso de tecnologias, perguntamos quanto ao que eles gostaram mais sobre o conteúdo explanado em sala de aula. Sobre isso apresentaram que gostaram de perceber a aplicabilidade do dia a dia (50%), os aspectos teóricos (25%), e uma aluna que se absteve de responder a questão.

Na segunda questão foi explorado a questão metodológica, perguntamos se havia preferência pelo uso de metodologias tradicionais ou pelo uso de aplicativos e simuladores nas aulas. Para esta indagação foi unânime a preferência pelos recursos digitais sendo justificado pela praticidade, pela ludicidade e por não exigir memorização. Conforme vê-se nos relatos a seguir (Figura 23).

Figura 23: Indagações dos alunos sobre a preferência pelo uso dos recursos digitais como recurso educacional





Fonte: Autoria própria, 2025.

Para investigar se os alunos usam aplicativos móveis como ferramentas de estudo, plataformas como Duolingo e aplicativos de quizzes, foi aplicado o terceiro questionamento. Por este, percebemos que todos os alunos não utilizavam aplicativos com fins educacionais. Em seguida, foi indagado qual dos dois programas usados eles gostaram mais de usar e qual o motivo para essa preferência, assim obtivemos 75% dos alunos preferindo um Avogadro pela dinamicidade e 25% preferindo o Desmos pela praticidade.

Por fim, quanto a percepção individual quanto ao próprio aprendizado por meio dos aplicativos, todos os alunos do grupo teste disseram que o uso dos aplicativos melhorou o aprendizado deles.

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho apresentamos um produto educacional que consiste em um manual didático sobre a utilização dos programas Avogadro e Desmos para o estudo do Oscilador Harmônico Simples, aplicado ao movimento vibracional das moléculas diatômicas (H_2 , O_2 e N_2). O material é destinado aos professores para o ensino dos estudantes do 2º ano do Ensino Médio.

Em sala de aula, foi realizada a verificação do nível de conhecimentos dos discentes de uma escola pública do estado do Maranhão, em São Luís, a respeito de conceitos básicos sobre oscilações. Para esse fim, aplicamos um questionário diagnóstico. Observando o aproveitamento da turma, foi possível identificar o subnível dos estudantes a respeito do tema e planejar as aulas.

Após corrigidas as avaliações diagnósticas (questionário I), planejamos as aulas da melhor forma sobre o assunto oscilações, em especial o MHS na disciplina Aprofundamento ao longo do final do quarto bimestre, durante a semana, tínhamos 2 encontros (100 min/semana de aula) com a turma.

Os assuntos abordados pós-questionário I foram: movimentos periódicos, movimento harmônico simples, energia no MHS, funções horárias do MHS, pêndulo simples e oscilação molecular. Depois que as aulas teóricas foram concluídas, os alunos fizeram atividades relacionadas aos conteúdos estudados.

A turma foi dividida em dois grupos para as atividades: o grupo teste, constituído por quatro pessoas, e o grupo controle, formado pelo restante da turma. O grupo controle ficou resolvendo uma lista de exercícios que está no apêndice C. O grupo teste foi escolhido para utilizar recursos computacionais, a saber, o Avogadro e o Desmos, com objetivo de se estudar o movimento harmônico simples em uma escala molecular.

Na avaliação final, constatou-se que o grupo teste, que fez uso dos recursos digitais, obteve uma nota um pouco melhor que a do grupo controle, evidenciando que esses recursos contribuem para a aprendizagem significativa. O uso dos aplicativos foi bem avaliado pelos alunos do grupo teste, porém não é o único fator para garantir uma boa aprendizagem, podendo o professor complementar com mais recursos de ensino.

Vale frisar que a amostra (grupo teste) da pesquisa foi muito pequena, o que limita o grau de confiança e aumenta a margem de erro. No entanto, o trabalho de caráter exploratório, serviu como um passo inicial para termos uma noção da evolução da aprendizagem e dos questionamentos dos alunos que utilizaram os recursos educacionais. Recomenda-se que

trabalhos futuros tenham uma amostragem maior.

Por fim, é deixado um produto educacional em anexo para o professor de Física que leciona a disciplina de Física ou Aprofundamento em turmas do segundo ano do Ensino Médio, a fim de explorar e ensinar de forma mais dinâmica o assunto MHS, não só em nível macroscópico, mas também a nível molecular.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. E. **Fundamentos de Química**. Saraiva, 2008.
- ALONSO, Marcelo; FINN, Edward J. **Física: um curso universitário**. Volume 1. 2. ed. São Paulo: Addison-Wesley, 1980.
- ATKINS, Peter; DE PAULA, Julio. **Físico-química**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- ATKINS, P.; DE PAULA, J.; KEELER, J. **Química Inorgânica Descritiva**. Bookman, 2012.
- BATISTA, Gerliane da Costa; MARINHO, Emanuelle Machado; MARINHO, Marcia Machado; MARINHO, Emmanuel Silva. **Avogadro no ensino de química: um avançado editor molecular de visualização de um grande potencial pedagógico**. 23º Seminário Internacional de Educação, Tecnologia e Sociedade, 2018. Disponível em: <http://docplayer.com.br/136636129-Avogadro-no-ensino-de-quimica-um-avancado-editor-molecular-de-visualizacao-de-um-grande-potencial-pedagogico.html>. Acesso em: 09 jul. 2024.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, DF: MEC, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em: 08 jul. 2024.
- CENTRO DE INOVAÇÃO PARA A EDUCAÇÃO BRASILEIRA**. CIEB: notas técnicas: Autoavaliação de competências digitais de professores. São Paulo: CIEB, 2019. E-book em pdf.
- CHIZZOTTI, Antônio. **Pesquisa em ciências humanas e sociais**. 5, ed. São Paulo: Cortez, 2001.
- STUDIO, DESMOS. **Desmos Graphing Calculator**. Disponível em: <https://www.desmos.com>. Acesso em: 10 set. 2024.
- DRAPER, Norman R.; SMITH, Harry. **Applied regression analysis**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1998.
- FELTRE, R. **Química: Química Geral**. Moderna, 2004.
- FERREIRA, Ana Lúcia; GONZÁLEZ BORRERO, Pedro Pablo. **Uma proposta para o ensino de oscilações**. Revista do Departamento de Física da UNICENTRO, 2005. Disponível em: https://www.academia.edu/58478362/Uma_proposta_para_o_ensino_de_oscilações. Acesso em: 10 jul. 2024.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicos em pesquisa social** 6a ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- HANWELL, Marcus D.; CURTIS, David E.; LUTZ, Michael; KENTSHIRE, Trey; HUTCHISON, Geoffrey R. **Avogadro: An advanced semantic chemical editor, visualization, and analysis platform**. *Journal of Cheminformatics*, 2012, 4.1: 1-17.
- JUSTO, Dagoberto Adriano; **Todos os Colaboradores**. **Cálculo numérico - um livro colaborativo - versão com scilab**. disponível em https://www.ufrgs.br/reatmat/CalculoNumerico/livro-_sci/main.html, Novembro 2016. Acesso em: 30 set. 2024.
- MONTGOMERY, Douglas C.; PECK, Elizabeth A.; VINING, Geoffrey G. **Introdução à análise de regressão**. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.
- MOREIRA, Marco Antônio. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.

- NETA, Miguel. **Física e Química: Tabelas**. Lisboa: Sociedade Portuguesa de Química, maio 2025. Disponível em: <<https://www.fq.pt/images/tabelas/FQ-tabelas.pdf>>. Acesso em: 5 jun. 2025.
- PACHECO, J. E; AUSUBEL, David P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Tradução de José Eduardo Pacheco. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2003.
- QUEIROZ, Iasmin. **Formação continuada de professores sob a perspectiva da aprendizagem significativa e tecnologias educacionais: análise de propostas de capacitação no contexto da educação a distância**. 2020. 154 f. Dissertação (Mestrado em Neurociências) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.
- RICHARDSON, R. J. **Pesquisa Social: Métodos e Técnicas** (3ª ed.). São Paulo: Atlas, 2008
- SANTOS, João. **Química Geral: Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: Editora Ciência, 2006.
- SILVA, José Renan da Silva; DIAS, Roberto Pereira; VASCONCELOS, Flávia Cristina Gomes Catunda. **Simulação computacional do ensino de química: o uso do programa Avogadro como ferramenta auxiliar no ensino de ligações químicas**. *Experiência em Ensino de Ciências*, v. 15, n. 2, 2020.
- TAVARES, M. T. **Química dos Materiais**. LTC, 2007.
- TAYLOR, John R. **Mecânica Clássica**. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- THORNTON, Stephen T.; MARION, Jerry B. **Dinâmica Clássica de Partículas e Sistemas**. Tradução de Regina Célia Lima Xavier. 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012.
- VERGARA, S. C. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração** (5ª ed.). São Paulo: Atlas, 2004.

APÊNDICE A

Cronogramas das atividades

AULA	DATA	HABILIDADES BNCC	TEMÁTICA	OBJETIVO	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	RECURSOS DIDÁTICOS	AValiação
AULA 1	11/09/24	(EM13CNT101) Analisar e representar as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões em situações cotidianas e processos produtivos que priorizem o uso racional dos recursos naturais.	Avaliação diagnóstica	Avaliar os conhecimentos dos alunos acerca da temática Oscilação	Aplicação de Questionário Diagnosticar o Subsunçor do Aluno	Questionário impresso	Quantitativa
AULA 2	24/09/24		Movimentos periódicos parte 1	Conhecer exemplos de movimentos periódicos e os sistemas que os realizam.	Aulas expositiva e dialogada	Quadro e seus acessórios	Qualitativa
AULA 3	02/10/24		Movimentos periódicos parte 2	Relacionar período e frequência de um movimento periódico	Aulas expositiva e dialogada	Quadro e seus acessórios	Qualitativa
AULA 4	03/10/24		Movimento harmônico simples	Compreender a relação entre período próprio do oscilador , a massado corpo e a constante elástica da mola.	Aulas expositiva e dialogada	Quadro e seus acessórios	Qualitativa
AULA 5	09/10/24		Energia no MHS parte 1	Analisar a conversão entre energias cinética e potencial em um MHS	Aulas expositiva e dialogada	Quadro e seus acessórios	Qualitativa
AULA 6	10/10/24		Energia no MHS parte 2	Relacionar energia mecânica e amplitude no MHS	Aulas expositiva e dialogada	Quadro e seus acessórios	Qualitativa
AULA 7	16/10/24		Funções horárias do MHS parte 1	Relacionar o MHS e o MCU	Aulas expositiva e dialogada	Quadro e seus acessórios	Qualitativa
AULA 8	17/10/24		Funções horárias do MHS parte 2	Definir as funções cinemáticas (funções horárias: posição x , velocidade v , aceleração a) no MHS a partir da sua relação com o MCU	Aulas expositiva e dialogada	Quadro e seus acessórios	Qualitativa

AULA 9	12/11/24		Pêndulo Simples	Compreender o conceito de pêndulo simples e suas características, aplicando o conhecimento para analisar o movimento oscilatório.	Aulas expositiva e dialogada	Quadro e seus acessórios	Qualitativa
AULA 10	12/10/24		Oscilação Molecular	Mostrar como as vibrações moleculares podem ser modeladas como osciladores harmônicos.	Aulas expositiva e dialogada	Quadro e seus acessórios	Qualitativa
AULA 11	29/10/24		Atividade de fixação Uso de recurso	Consolidar o aprendizado dos conceitos abordados nas aulas anteriores, através da aplicação de atividades práticas e uso de recursos tecnológicos.	Aplicação de atividades impressas (para o grupo controle) e auxílio no uso dos programas Avogadro e Desmos (para o grupo teste)	Notebook (ou computador de mesa ou celular) e atividades impressas	Qualitativa
AULA 12	30/10/24		Atividade de fixação Uso de recurso	Similar à aula 11, mas com foco em outro grupo de estudantes (Grupo controle), buscando garantir a consolidação do aprendizado para todos.	Aplicação de atividades impressas (para o grupo controle) e auxílio no uso dos programas Avogadro e Desmos (para o grupo teste)	Notebook (ou computador de mesa ou celular) e atividades impressas	Qualitativa
AULA 13	05/11/24		Avaliação final	Avaliar o aprendizado dos estudantes sobre os conceitos de pêndulo simples e oscilação molecular, comparando o desempenho entre os grupos que utilizaram e não utilizaram os recursos tecnológicos.	Aplicação de questionário final (para posteriormente comparar os grupos de quem utilizou e quem não utilizou os programas, assim como o rendimento da turma)	Questionário impresso	Quantitativa

APÊNDICE B

Questionário I-Diagnóstico: Conceitos Básicos sobre Movimento Oscilatório

1. Qual das alternativas melhor descreve um movimento oscilatório?
 - a) Um movimento que ocorre em linha reta e a uma velocidade constante.
 - b) Um movimento repetitivo em torno de uma posição de equilíbrio.
 - c) Um movimento que ocorre em um círculo e com velocidade variável.

2. O que caracteriza a amplitude de um movimento oscilatório?
 - a) A distância máxima entre o ponto de equilíbrio e o ponto extremo da oscilação.
 - b) O tempo necessário para completar uma oscilação completa.
 - c) A velocidade máxima alcançada durante a oscilação.

3. Qual dos exemplos a seguir representa um movimento oscilatório?
 - a) Um carro se movendo em linha reta em uma estrada.
 - b) Um pêndulo balançando para frente e para trás.
 - c) Uma bola rolando colina abaixo.

4. O que é o período de um movimento oscilatório?
 - a) O tempo necessário para o objeto completar uma única oscilação.
 - b) A velocidade máxima alcançada pelo objeto durante a oscilação.
 - c) A altura máxima alcançada pelo objeto durante a oscilação.

5. Em um movimento oscilatório, o que acontece quando o objeto está na posição de equilíbrio?
 - a) A velocidade do objeto é máxima e a aceleração é zero.
 - b) A velocidade do objeto é zero e a aceleração é máxima.
 - c) Tanto a velocidade quanto a aceleração do objeto são máximas.

Apêndice C

Questões de fixação para o grupo controle enquanto o teste está utilizando os programas Avadro e Desmos

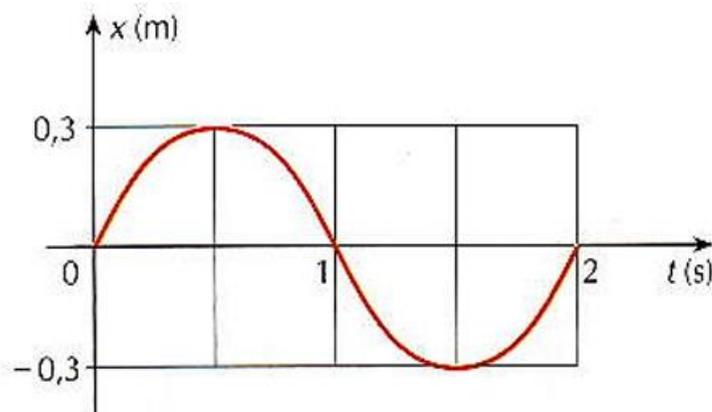
1ª) Um ponto material realiza um MHS sobre um eixo Ox segundo a função horária:

$$x = 0,4 \cdot \text{sen} \left(\frac{\pi}{2} t + \pi \right) \quad (x \text{ em m e } t \text{ em s})$$

Determine:

- a amplitude, a pulsação, a fase inicial e o período do movimento;
- a velocidade escalar e a aceleração escalar nos instantes $t = 1\text{ s}$ e $t = 2\text{ s}$.

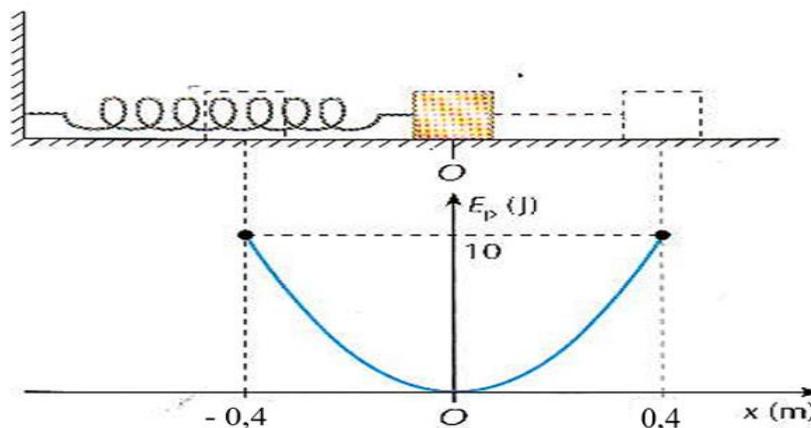
2ª) A enlocação de uma partícula em MHS varia com o tempo segundo o gráfico abaixo.



Determine:

- a amplitude, o período e a pulsação do movimento;
- a função horária do movimento.

3ª) Uma partícula oscila em torno de um ponto O, num plano horizontal, realizando um MHS. O gráfico representa a energia potencial acumulada na mola em função da abscissa x.



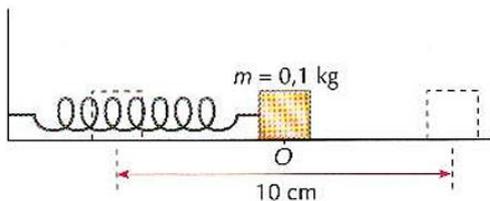
Determine:

- a amplitude do MHS;
- a constante elástica da mola;
- a energia potencial elástica e a energia cinética quando $x = 0,2\text{ m}$

Apêndice D

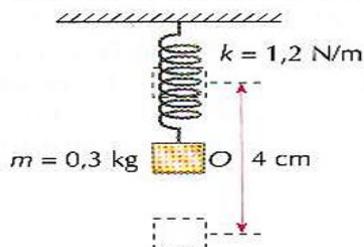
Questionário final para todos da turma

- 1ª) Qual das alternativas melhor descreve um movimento oscilatório?
- Um movimento que ocorre em linha reta e a uma velocidade constante.
 - Um movimento que ocorre em um círculo e com velocidade variável.
 - Um movimento repetitivo em torno de uma posição de equilíbrio.
- 2ª) O que caracteriza a amplitude de um movimento oscilatório?
- O tempo necessário para completar uma oscilação completa.
 - A velocidade máxima alcançada durante a oscilação.
 - A distância máxima entre o ponto de equilíbrio e o ponto extremo da oscilação.
- 3ª) Qual dos exemplos a seguir representa um movimento oscilatório?
- Um pêndulo balançando para frente e para trás.
 - Uma bola rolando colina abaixo.
 - Um carro se movendo em linha reta em uma estrada.
- 4ª) O que é o período de um movimento oscilatório?
- A altura máxima alcançada pelo objeto durante a oscilação.
 - A velocidade máxima alcançada pelo objeto durante a oscilação.
 - O tempo necessário para o objeto completar uma única oscilação.
- 5ª) Em um movimento oscilatório, o que acontece quando o objeto está na posição de equilíbrio?
- Tanto a velocidade quanto a aceleração do objeto são máximas.
 - A velocidade do objeto é zero e a aceleração é máxima.
 - A velocidade do objeto é máxima e a aceleração é zero.
- 6ª) Qual é a **frequência** do MHS da figura abaixo? A posição de equilíbrio corresponde ao ponto O, sendo indicados os extremos da oscilação. Não há força dissipativas (constante da mola: $k = 0,4\pi^2 \text{ N/m}$).



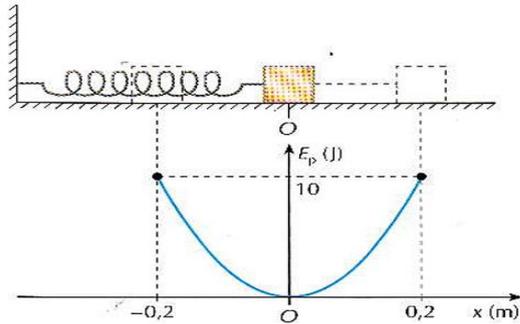
- 0,5 s
- 1 s
- 2 s

- 7ª) Qual é a **amplitude** do MHS da figura abaixo? A posição de equilíbrio corresponde ao ponto O, sendo indicados os extremos da oscilação. Não há força dissipativas.



- 4 cm
- 2 cm
- 1 cm

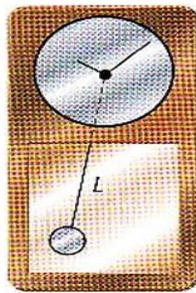
8ª) Uma partícula oscila em torno de um ponto O, num plano horizontal, realizando um MHS. O gráfico representa a energia potencial acumulada na mola em função da abscissa x. Quanto vale a constante elástica da mola?



- a) 300 N/m
- b) 400 N/m
- c) 500 N/m

9ª) (Adaptada) Um antigo relógio, figura abaixo, é calibrado no frio inverno gaúcho. Considerando que o período deste sistema oscilante é dado por:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

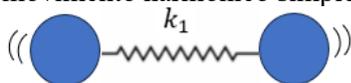


em que L é o comprimento do fio e g é aceleração local da gravidade. Se o relógio for transportado do Nordeste para a superfície da Lua, nas mesmas condições de temperatura, o seu horário:

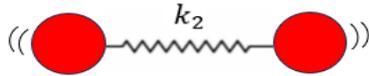
- a) Atrasará
- b) Adiantará
- c) Não sofrerá mudança

10ª) As moléculas diatômicas, como o hidrogênio (H_2) e o oxigênio (O_2), podem ser simplificadaamente modeladas como sistemas massa-mola. Nessa analogia, os átomos são representados por massas pontuais e a ligação química entre eles é comparada a uma mola ideal. Quando perturbados de sua posição de equilíbrio, esses sistemas executam um movimento oscilatório conhecido como movimento harmônico simples (MHS).

A Figura 1 ilustra a molécula de hidrogênio, onde os dois átomos de hidrogênio estão conectados por uma mola de constante elástica k_1 . Analogamente, a Figura 2 representa a molécula de oxigênio, com seus átomos unidos por uma mola de constante elástica k_2 . A diferença entre os valores de k_1 e k_2 reflete a natureza das ligações químicas nas duas moléculas e influencia diretamente as características do movimento harmônico simples de cada sistema



Molécula de Hidrogênio H_2 (Figura 1)



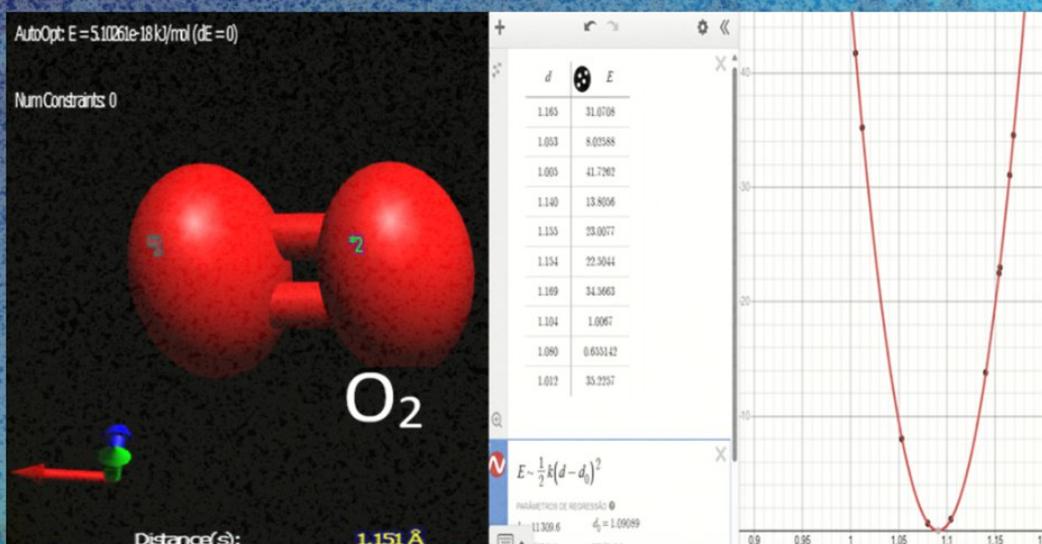
Molécula de Oxigênio O_2 (Figura 2)

De acordo com os estudos sobre movimento vibracionais moleculares podemos concluir:

- Quanto **maior** for o valor da constante elástica e **menor** for a massa dos átomos acoplados na molécula maior será a frequência oscilatória (ou seja, o sistema vibrará mais rapidamente).
- Quanto **menor** for o valor da constante elástica e **maior** for a massa dos átomos acoplados na molécula maior será a frequência oscilatória (ou seja, o sistema vibrará mais rapidamente).
- O **valor** da constante elástica da mola **não** influencia no movimento oscilatório.

MANUAL DIDÁTICO
**MODELAGEM DE LIGAÇÕES QUÍMICAS
ATRAVÉS DO OSCILADOR HARMÔNICO
SIMPLES PARA ALUNOS DO 2º ANO
DO ENSINO MÉDIO**

Diego Silva



**Produto Educacional
Mestrado em Ensino de Física**

Autor:

Diego de Brito Silva

Orientador:

Prof. Dr. Eduardo Moraes Diniz

Capa:

Andressa Isabela Ferreira da Silva

Figuras da capa:

Desenvolvidos pelos programas Avogadro, Desmos, PowerPoint e Canva

São Luís - MA

2025

© Diego de Brito Silva e Eduardo Moraes Diniz – 2025.

O conteúdo deste documento pode ser livremente reproduzido, desde que a fonte seja devidamente mencionada. As imagens utilizadas pertencem aos seus respectivos autores e têm finalidade exclusivamente didática. Caso identifique alguma violação de direitos autorais, solicitamos que entre em contato com os autores. Este material é disponibilizado de forma gratuita, sem qualquer objetivo comercial ou retorno financeiro para os autores, com o propósito único de promover a disseminação do conhecimento científico.

APRESENTAÇÃO

Prezado Docente

Nos dias atuais, é impossível ignorar o uso das tecnologias digitais, considerando as grandes transformações que tornam nossa sociedade cada vez mais dependente desses recursos. Por exemplo, a utilização do dinheiro físico tem diminuído significativamente, sendo gradualmente substituído por alternativas digitais, como o pix (sistema brasileiro de pagamentos instantâneos). Além disso, muitos leitores têm optado por bibliotecas virtuais, como SciELO, Periódicos CAPES e Google Scholar, devido à praticidade no acesso a obras e artigos científicos.

Outro exemplo relevante é a telemedicina, que possibilita consultas médicas à distância, eliminando a necessidade de deslocamento até o consultório. Afora essas inovações, destaca-se o impacto das redes sociais na comunicação e o uso de aplicativos de entrega, como iFood e Uber Eats, que facilitam o dia a dia das pessoas. Essas tecnologias digitais não apenas transformam o modo como realizamos atividades cotidianas, mas também são essenciais para o avanço econômico, científico e social em nossa era digital. Isso se reflete, sobretudo, na educação, onde os alunos do Ensino Médio estão cada vez mais aptos a utilizar esses recursos.

No entanto, muitos estudantes que estão no final da educação básica relatam que a disciplina de Física é difícil e desinteressante. Isso ocorre, muitas vezes, devido à falta de estímulo, tanto por parte dos professores quanto dos próprios alunos, o que resulta em notas baixas, reprovações e, em casos mais graves, a evasão escolar. Tal desmotivação também reflete na escolha da carreira, contribuindo para a falta de professores de Física no mercado de trabalho.

Uma das alternativas para despertar o interesse dos alunos em estudar Física seria a utilização de recursos digitais. Esses recursos ajudam os alunos a compreenderem melhor os fenômenos físicos, complementando as aulas práticas de laboratório (ou substituindo-as quando estas não estão disponíveis por experimentos de baixo custo). Exemplos tecnológicos incluem aplicativos de celular e programas de computador gratuitos e acessíveis na internet.

Cada aluno possui conhecimentos prévios (subsunçores), que são fundamentais para o professor planejar atividades e aplicar recursos educacionais de forma a tornar a aprendizagem mais significativa.

Com o objetivo de tornar as aulas mais interessantes e significativas, este trabalho apresenta um manual passo a passo para a utilização dos aplicativos Avogadro e Desmos no estudo do movimento harmônico simples (MHS) em moléculas diatômicas como H_2 (hidrogênio), O_2 (oxigênio) e N_2 (nitrogênio). Este estudo permite explorar as energias potenciais elásticas, as distâncias interatômicas e as constantes elásticas dessas moléculas, ampliando a abordagem tradicional que se limita aos sistemas macroscópicos, como sistemas massa-mola e pêndulo simples, comumente citados nos livros didáticos de Física do ensino médio.

O software Avogadro é uma ferramenta de modelagem molecular que permite observar propriedades e características das moléculas, como a estrutura, a construção (em 2D e 3D) e a edição de moléculas. Ele também possibilita a análise de vibrações moleculares e o cálculo da energia potencial elástica em função das distâncias interatômicas.

Já o Desmos é uma plataforma online para a visualização matemática, com destaque para gráficos interativos. Ele é amplamente utilizado no ensino e aprendizagem de Matemática e Física, pois facilita a exploração de conceitos por meio de representações dinâmicas. Na Física, utilizaremos o Desmos para visualizar gráficos relacionados à energia potencial em função da distância interatômica e para explorar conceitos do MHS, como a determinação da constante elástica do sistema.

Portanto, esses dois recursos educacionais (Avogadro e Desmos) são fundamentais para aprofundar o estudo do MHS, um assunto abordado no segundo ano do ensino médio. Este manual apresenta um apoio pedagógico que pode tornar as aulas de Física mais dinâmicas e atraentes, tanto para alunos quanto para professores.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	3
1 INTRODUÇÃO	7
2 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA.....	8
3 INICIANDO OS PROGRAMAS AVOGADRO E DESMOS.....	9
3.1 Instalação do Avogadro.....	9
3.2 Interface do Avogadro.....	10
3.3 Instalação do Desmos	11
3.4 Interface do Desmos	12
3.5 Criando gráfico.....	12
4 SIMULAÇÕES DOS SOFTWARES.....	12
4.1 Confeccionando a molécula diatômica H ₂ (Hidrogênio) no software Avogadro.....	12
4.1.1 Obtendo as energias de ligação E, distância interatômica d e o gráfico (E x d) do H ₂	13
4.1.2 Determinando o gráfico das Energias Potenciais Elásticas em função da distância interatômica do H ₂ através do Desmos.....	25
4.2 Confeccionando a molécula diatômica O ₂ (Oxigênio) no software Avogadro.....	28
4.2.1 Obtendo as energias de ligação E, distância interatômica d e o gráfico (E x d) do O ₂ :.....	30
4.2.2 Determinando o gráfico das Energias Potenciais Elásticas em função da distância interatômica do O ₂ através do Desmos.....	42
4.3 Confeccionando a molécula diatômica N ₂ (Nitrogênio) no software Avogadro.....	45
4.3.1 Obtendo as energias de ligação E, distância interatômica d e o gráfico (E x d) do N ₂ :.....	47
4.3.2 Determinando o gráfico das Energias Potenciais Elásticas em função da distância interatômica do N ₂ através do Desmos.....	60
5 ATIVIDADES: TEÓRICAS E PROBLEMAS.....	64
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
7 REFERÊNCIAS.....	68

1 INTRODUÇÃO

A utilização de programas computacionais (ou aplicativos em celulares) no ensino de Física tem como propósito ser um importante recurso pedagógico para os docentes ministrarem aulas de Física com mais dinamicidade e visibilidade, auxiliando os alunos a alcançarem uma aprendizagem significativa. Neste produto educacional (manual passo a passo) iremos encontrar as energias potenciais elásticas das moléculas diatômicas em função com das distâncias interatômicas e fazer ajustes de curvas para verificar a constante elástica de ligação para cada molécula.

Este produto educacional ajudará o professor a ganhar diversas vantagens que facilitam o ensino e potencializam sua prática pedagógica. Aqui estão os principais benefícios:

VANTAGENS
Aulas mais dinâmicas
O uso dessas ferramentas torna as aulas mais interativas e visuais, permitindo ao professor captar melhor a atenção dos alunos e tornar os recursos educacionais mais acessíveis.
Facilidade para explicar conceitos abstratos
Avogadro: Ajuda a representar moléculas e vibrações moleculares em 3D, facilitando a explicação de conceitos que poderiam ser difíceis de ilustrar apenas com teorias e desenhos no quadro. Desmos: Permite representar graficamente os dados das oscilações (MHS), ilustrando relações como energia potencial elástica e distância entre os átomos da molécula e o valor da constante elástica desta.
Integração de teoria e prática
Com esses programas, o professor pode unir conceitos teóricos a simulações práticas, proporcionando aos alunos uma experiência de aprendizado mais completa e conectada ao mundo real.
Estimula a interdisciplinaridade
O professor pode explorar a interface entre Física, Química e Matemática, mostrando como os conteúdos se complementam e reforçam, o que é especialmente útil em um ensino mais contextualizado.
Economia de tempos e recursos
Ferramentas como o Desmos permitem gerar gráficos rapidamente, sem a necessidade de cálculos manuais ou softwares complexos. O Avogadro, por sua vez, elimina a necessidade de modelos físicos para ilustrar moléculas, reduzindo custos e esforços.
Maior engajamento dos alunos
Com aulas atrativas e tecnológicas, o professor pode observar maior participação e interesse dos alunos, tornando o ambiente de ensino mais produtivo.
Ferramentas para avaliação diferenciada
Usando esses programas, o professor pode propor atividades práticas ou projetos, indo além das avaliações tradicionais, e medir melhor o aprendizado dos alunos.
Desenvolvimento profissional
O domínio dessas ferramentas coloca o professor em contato com tecnologias educacionais modernas, aprimorando suas competências digitais e alinhando sua prática às demandas do ensino do Século XXI.

Fonte: Autor.

2 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

As atividades do produto educacional foram desenvolvidas inspiradas pela teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, é uma teoria cognitiva que se concentra no processo de assimilação e integração de novos conhecimentos nas estruturas cognitivas existentes dos aprendizes. Ausubel acredita que a aprendizagem significativa ocorre quando novas informações são relacionadas de maneira não arbitrária e substantiva com o conhecimento prévio do aluno.

[...] Este conhecimento prévio é, para Ausubel, o fator determinante do processo de aprendizagem. Note-se que, para Ausubel, o conhecimento é significativo por definição, resultando de um processo psicológico que envolve a interação entre ideias culturalmente significativas, já “ancoradas” na estrutura cognitiva *particular* de cada aprendiz e o seu próprio mecanismo mental para aprender de forma significativa (PACHECO, 2003, p 4).

Ausubel enfatizou a importância da estrutura cognitiva de quem está aprendendo, que consiste no conhecimento prévio e nas experiências que o indivíduo já possui. Ele argumentou que novos conhecimentos são aprendidos mais facilmente quando estão relacionados a conceitos relevantes e claros na estrutura cognitiva do aluno.

Um dos conceitos que o autor aborda é sobre o “subsunçor”. Esta é uma ideia ou conceito específico que está claramente definido e compreendido pelo aluno. Quando um novo conhecimento é apresentado de forma significativa e é relacionado a um subsunçor já existente na estrutura cognitiva do discente, ele é ancorado com uma nova unidade de conhecimento (PACHECO, 2003).

[...] A aprendizagem de subsunção ocorre quando uma proposição ‘logicamente’ significativa de uma determinada disciplina (plausível, mas não necessariamente válida em termos lógicos ou empíricos, no sentido filosófico) se relaciona de forma significativa com proposições subordinantes específicas na estrutura cognitiva do aluno. Tal aprendizagem pode denominar-se derivativa, caso o material de aprendizagem apenas exemplifique ou apoie uma ideia já existente na estrutura cognitiva. Denomina-se correlativa, se for uma extensão, elaboração, modificação ou qualificação de propostas anteriormente apreendidas (PACHECO, 2003, p 4).

Ausubel comparou a aprendizagem significativa com a aprendizagem mecânica. Na primeira, o aluno atribui significado às informações, relacionando-as a conceitos existentes. Já na última, as informações são memorizadas sem uma compreensão profunda e, muitas vezes, são esquecidas após um curto período e trabalhadas de forma arbitrária.

Para promover a aprendizagem de forma significativa, Ausubel sugeriu que o material de ensino deveria ser organizado de forma lógica, clara e estruturada. Deve haver um foco na apresentação de

ideias claras e na facilitação das conexões entre novos e antigos conhecimentos.

Ausubel reconheceu também a importância tanto da aprendizagem por recepção (quando os alunos aprendem através da instrução direta) quanto da aprendizagem por descoberta (exploram e descobrem por conta própria). No entanto, ele enfatizou que a aprendizagem significativa é mais eficaz quando os discentes recebem instruções que os ajudam a relacionar novos conhecimentos a conceitos existentes.

No contexto do uso de simuladores computacionais para ensinar oscilações moleculares, a teoria de Ausubel pode ser aplicada para maximizar a eficácia do aprendizado. Ao introduzir o conceito de oscilações moleculares através de instruções diretas e bem estruturadas, os alunos podem formar uma base sólida de conhecimento. Posteriormente, ao utilizar os simuladores, eles podem explorar e experimentar de maneira interativa, permitindo que relacionem os conceitos aprendidos às representações visuais e dinâmicas fornecidas pelo software. Essa abordagem combinada ajuda a promover uma aprendizagem significativa, onde os alunos não apenas memorizam os conceitos, mas também os compreendem em um nível mais profundo ao conectar novas informações a seus conhecimentos prévios.

3 INICIANDO OS PROGRAMAS AVOGADRO E DESMOS

Os programas Avogadro e Desmos foram escolhidos devido à praticidade e por serem livre acesso na internet. Podemos utilizá-los tanto nas aulas de Química quanto nas de Física.

Na Física, no conteúdo de MHS (Movimento Harmônico Simples), é possível estudar os movimentos vibracionais moleculares e compreender a dinâmica relacionada à energia potencial elástica, à distância interatômica, ao ajuste de curvas (energia x distância) e à determinação da constante elástica de ligação por meio desses aplicativos. A seguir, vamos explorar alguns comandos para a utilização dos dois programas.

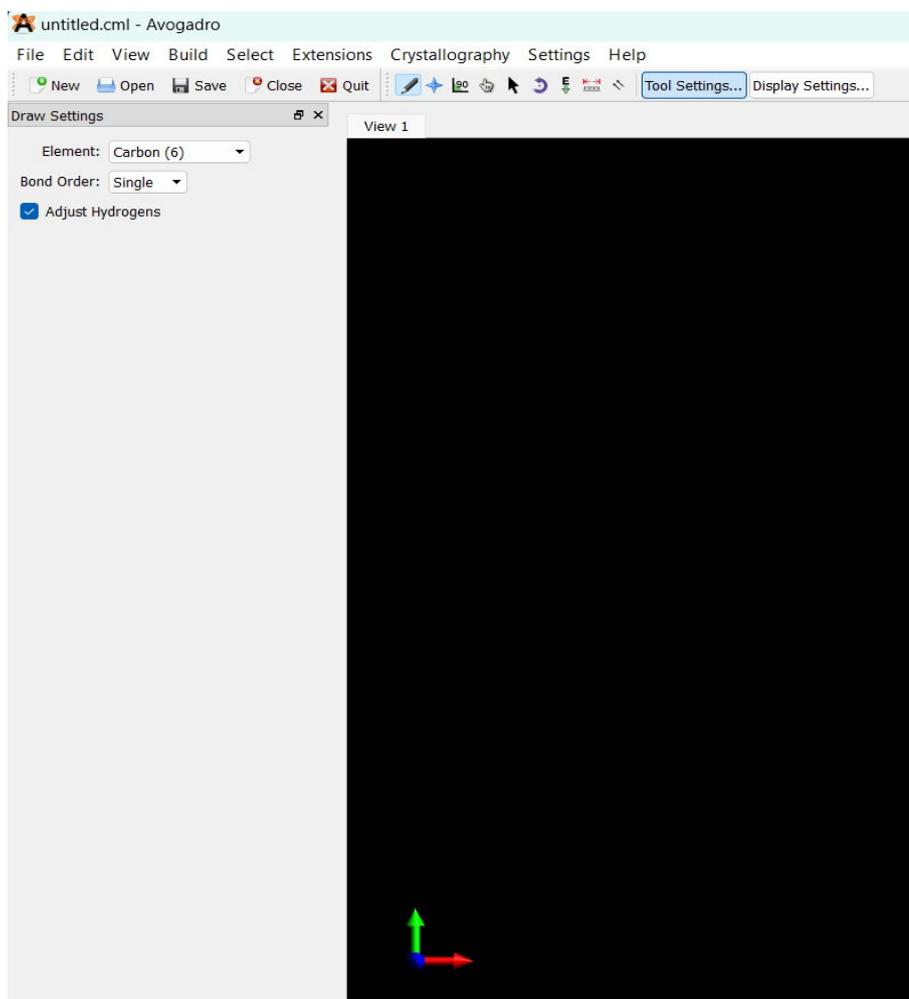
3.1 Instalação do Avogadro

O Software avogadro é utilizado por enquanto em apenas nos computadores (não temos a versão para o celular). De maneira simples, para baixar este programa no sistema operacional Windows podemos seguir os seguintes passos:

- Utilize qualquer navegador de busca (Google, Firefox, Edge, etc) e entre no site oficial do Avogadro: <https://avogadro.cc/>.
- Clique no menu *download* para iniciar a instalação e espere até finalizar.
- Após o download, clique duas vezes no arquivo *.exe* baixado.
- Siga as instruções do assistente de instalação. Geralmente, é só clicar em *Next*, escolher a pasta de destino, e depois clicar em *Install*.
- Após a instalação, clique em *Finish*.

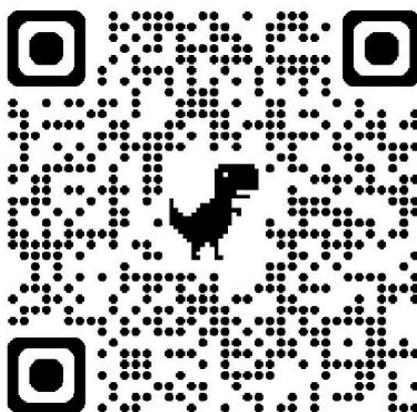
3.2 Interface do Avogadro

Na figura abaixo podemos visualizar a interface do programa.



Para mais detalhes sobre todas as ferramentas e menus do programa Avogadro (menu manual do site do software) iremos deixar o QR code abaixo:

<https://avogadro.cc/docs/>



3.3 Instalação do Desmos

Diferentemente do Avogadro, o Desmos pode ser utilizado tanto na forma online quanto baixada em forma de aplicativo nos celulares, sendo acessível para os alunos. Aqui iremos ensinar primeiro como ter o acesso de forma online:

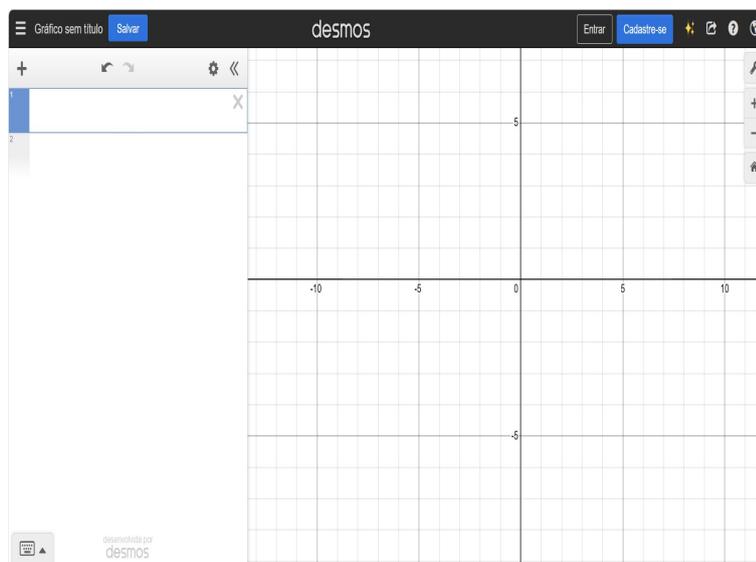
- No seu computador, tablet ou celular, abra um navegador de sua preferência.
- Digita www.desmos.com/calculator?lang=pt-BR na barra de pesquisa e pressione Enter.
- Escolha a ferramenta desejada.

O aplicativo Desmos está disponível tanto para Android quanto para IOS. Aqui está o passo a passo para baixar e instalá-lo no celular:

- 1 - Acesse a loja de aplicativos do seu celular:
 - Android: *Google play store*.
 - iPhone: *App Store*.
- 2 - Procure por “Desmos” na barra de pesquisa
- 3 - Encontre o aplicativo desejado:
 - Desmos Graphing Calculator (para gráficos e funções)
- 4 - Clique em “Instalar” (Android) ou “Obter” (iOS).
- 5 - Aguarde o download e a instalação.
- 6 - Abra o aplicativo e comece a usar.

3.4 Interface do Desmos

Na figura abaixo podemos visualizar a interface do programa.



3.5 Criando gráfico

Para criação de gráficos, digite a expressão na barra em branco. Quanto mais você vai digitando as equações, o Desmos irá de maneira quase instantânea mostrar os gráficos correspondente a expressão.



4 SIMULAÇÕES DOS SOFTWARES

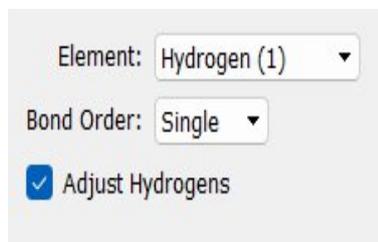
Aqui iremos mostrar como trabalhar com o movimento harmônico simples explorando o campo molecular. Vamos utilizar os dois aplicativos para fazer essa tarefa nesta sessão.

4.1 Confeccionando a molécula diatômica H₂ (Hidrogênio) no software Avogadro

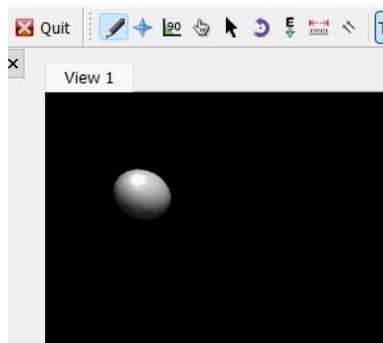
- Vamos criar a molécula H₂: Primeiro passo clicando na *Ferramenta de Desenho* (lápiz):



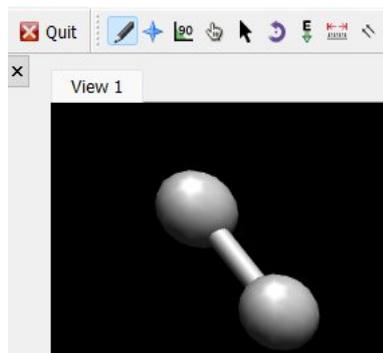
- Escolha o elemento: Hidrogênio:



- Clique com o botão esquerdo em qualquer parte da tela negra do programa. Fazendo isso gerará um átomo de H:



- Agora clicando com o botão esquerdo em cima da molécula e arrastando o mouse produzirá uma ligação com outro átomo de Hidrogênio gerando uma molécula diatômica H_2 ($H - H$):

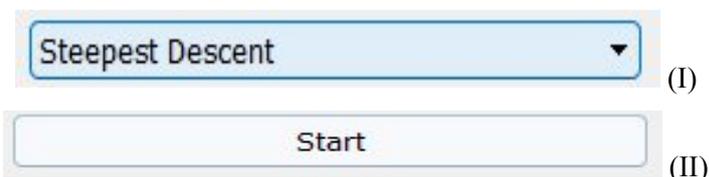


4.1.1 Obtendo as energias de ligação E , distância interatômica d e o gráfico ($E \times d$) do H_2

- Agora o próximo passo será a obtenção das energias de ligação e a distância interatômica iremos, clicar com o mouse com o botão esquerdo no ícone *Ferramenta de Otimização Automática* abaixo:



- Selecione *Steepest Descent* (Descida mais íngreme) e em seguida clique em Start (começar):

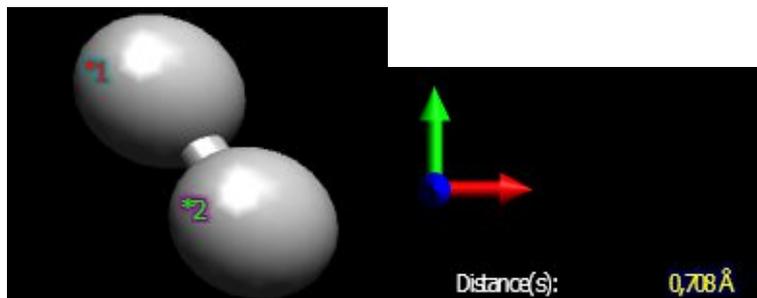


- Observe que no canto superior esquerdo da tela preta irá ver a energia de ligação dos dois átomos de Hidrogênio quando a molécula está na sua posição de equilíbrio (veja abaixo); Vamos também obter a distância interatômica da molécula H_2 na posição de equilíbrio associada aquela energia (ou distância das duas moléculas de H) selecionando o ícone *Clique Para Medir* abaixo:

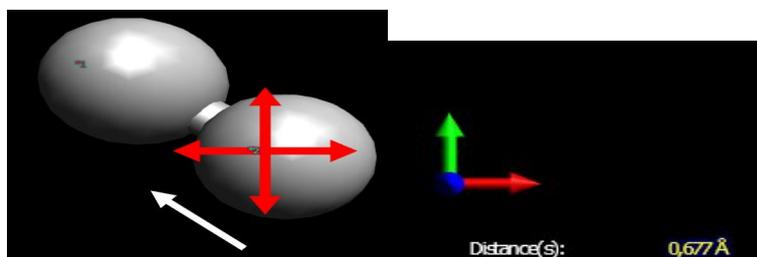
AutoOpt: $E = 4.68124e-21$ kJ/mol ($dE = 0$)



- Após selecionar o ícone *Clique Para Medir*, dê apenas um clique em cada átomo da molécula. Você determinará a posição de equilíbrio (observe que a posição foi de 0,708 Å):



- Vamos contrair a “mola” que liga as duas moléculas antes de colocá-la para a oscilar. Primeiro selecione Stop (parar), na sequência clique na *Ferramenta De Manipulação* e empurre a molécula 2 até a molécula 1 sem encostá-las. Observe a distância que ela ficou após a contração na outra figura.

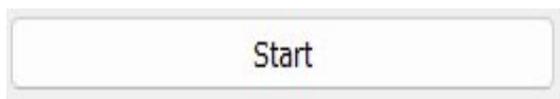


- Agora selecionamos a *Ferramenta de Otimização Automática*, em seguida clique em *Algorithm : Molecular Dynamics (300 k)* [Dinâmica Molecular (300 K)].



Algorithm:

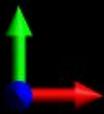
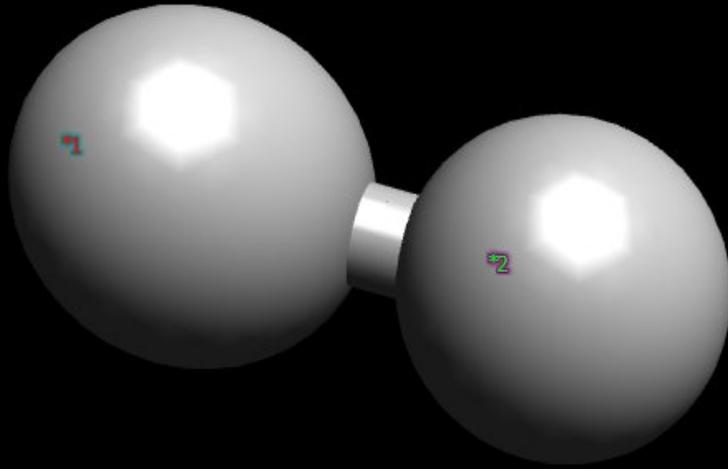
- Próximo passo é clicar em *Start* (começar):



- Agora iremos dar os *prints* da tela e captar as imagens referentes às Energias (setas azuis) e as *distâncias interatômicas* (setas vermelhas) associadas (vamos capturar 10 telas):

AutoOpt: E = 0.347873 kJ/mol (dE = 0.0359377)

NumConstraints 0



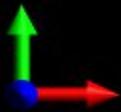
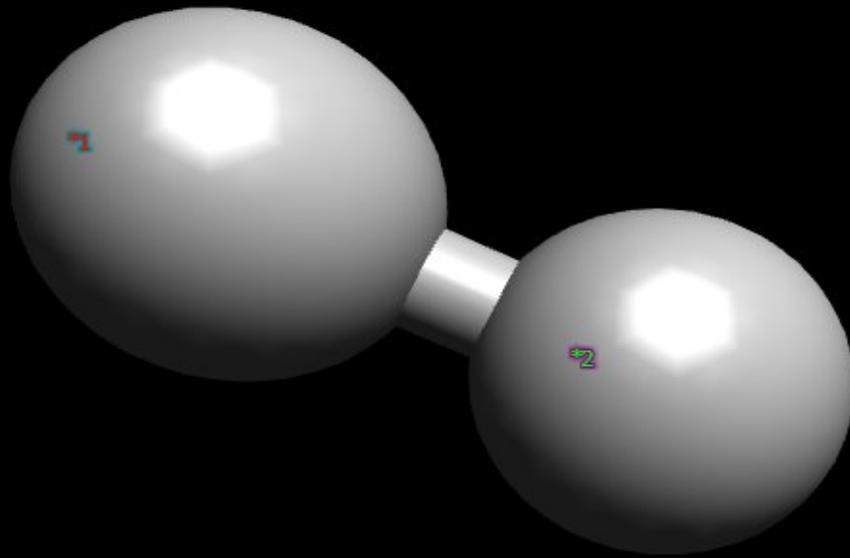
Distance(s):

0,721 Å

View 1

AutoOpt: E = 4.75519 kJ/mol (dE = 0.0800894)

NumConstraints 0



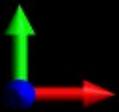
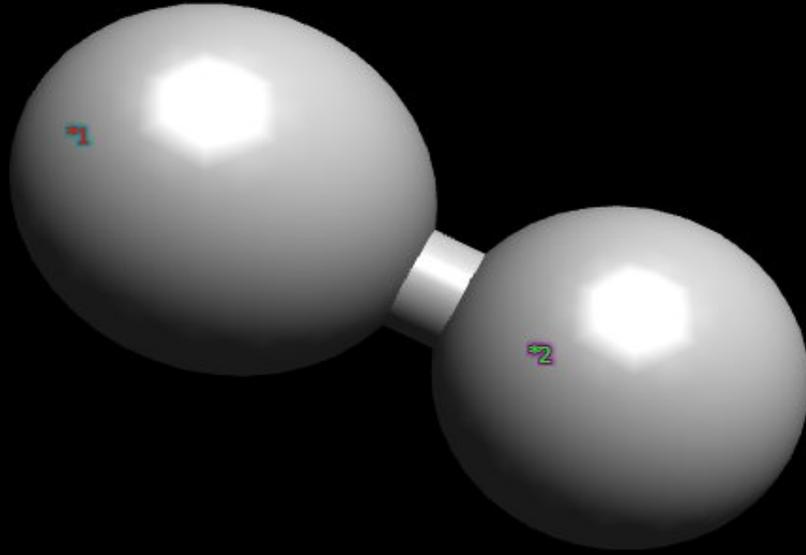
Distance(s):



0,757 Å

AutoOpt: E = 0.256235 kJ/mol (dE = 0.0311759)

NumConstraints: 0



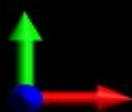
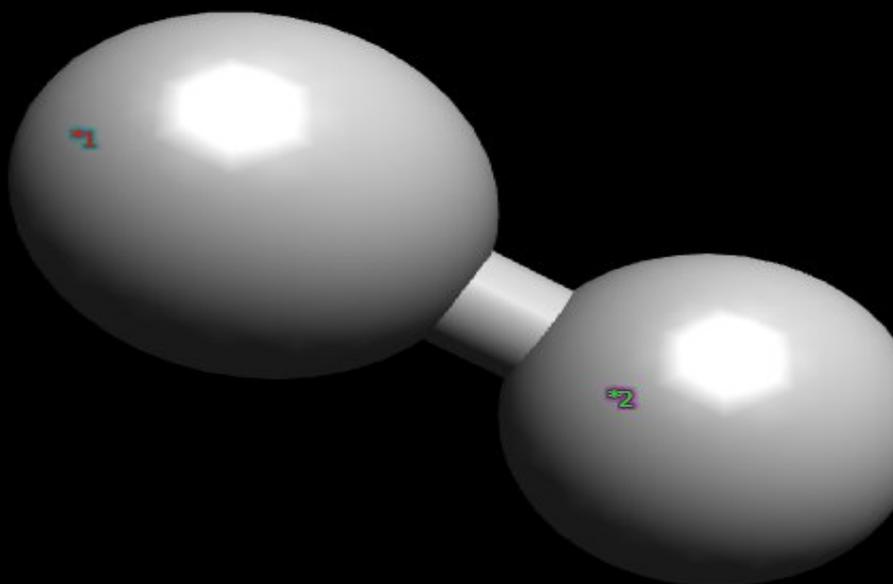
Distance(s):



0,719 Å

AutoOpt: E = 5.99879 kJ/mol (dE = 0.0661292)

NumConstraints: 0



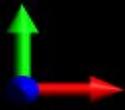
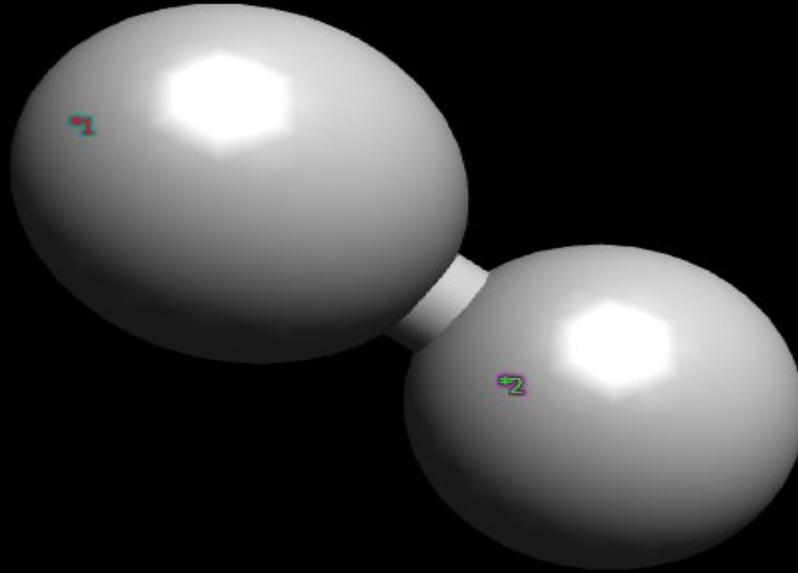
Distance(s):



0,763 Å

AutoOpt: E = 0.816948 kJ/mol (dE = 0.052479)

NumConstraints: 0



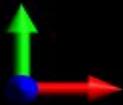
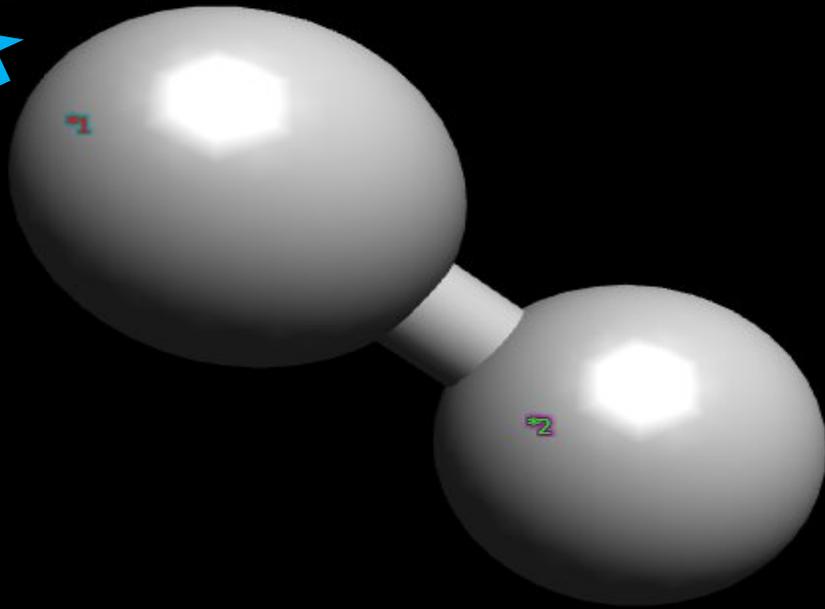
Distance(s):



0,688 Å

AutoOpt: E = 7.26036 kJ/mol (dE = 0.023703)

NumConstraints: 0



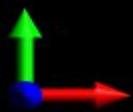
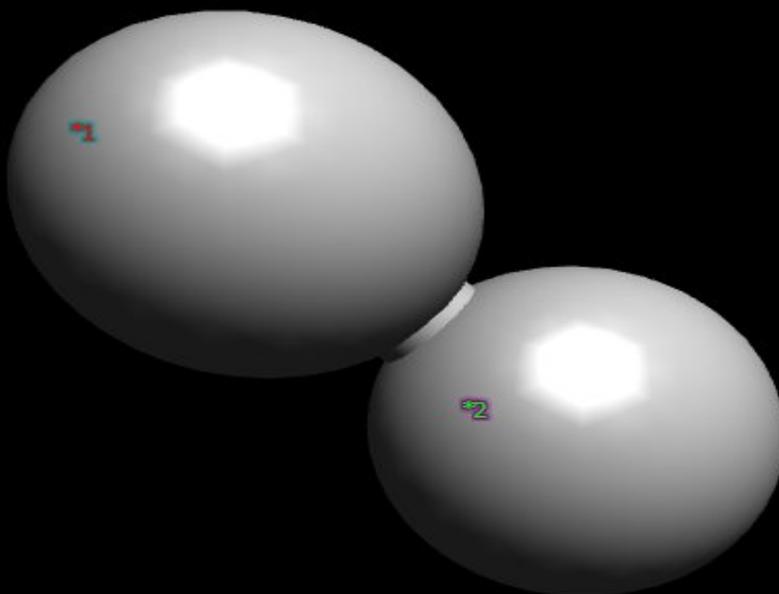
Distance(s):



0,768 Å

AutoOpt: E = 7.05184 kJ/mol (dE = 0.0259788)

NumConstraints: 0



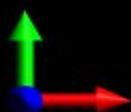
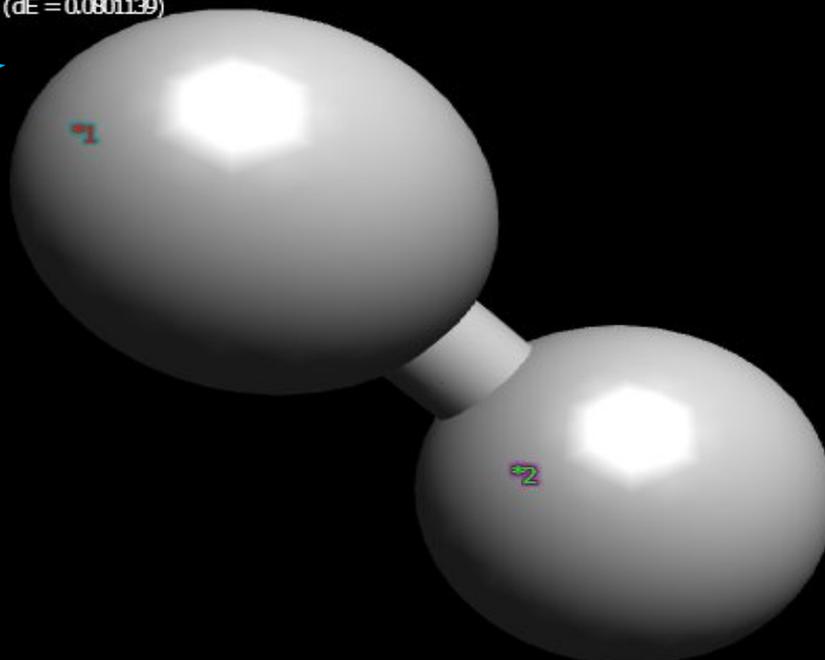
Distance(s):



0,648 Å

AutoOpt: E = 2.75965 kJ/mol (dE = 0.0801139)

NumConstraints: 0



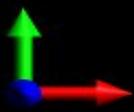
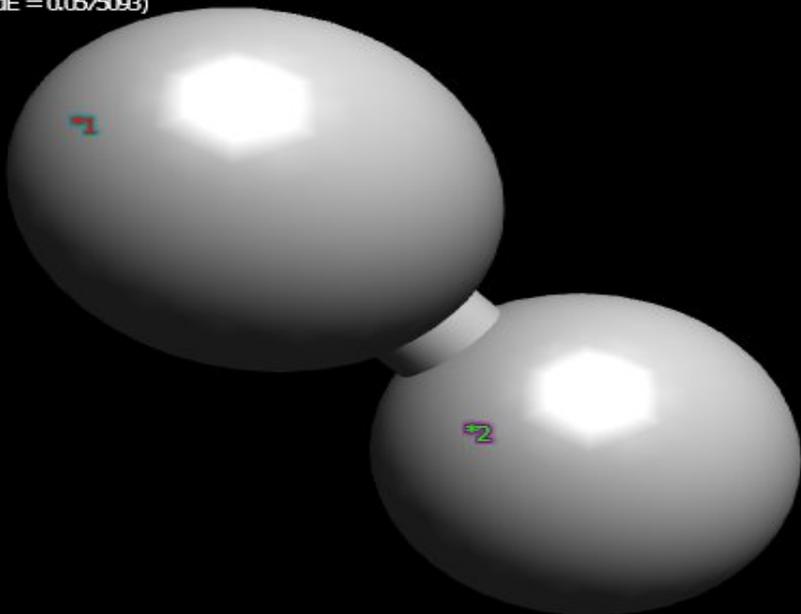
Distance(s):



0,745 Å

AutoOpt: E = 1.07462 kJ/mol (dE = 0.0575093)

NumConstraints: 0



Distance(s):

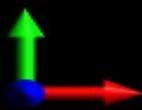
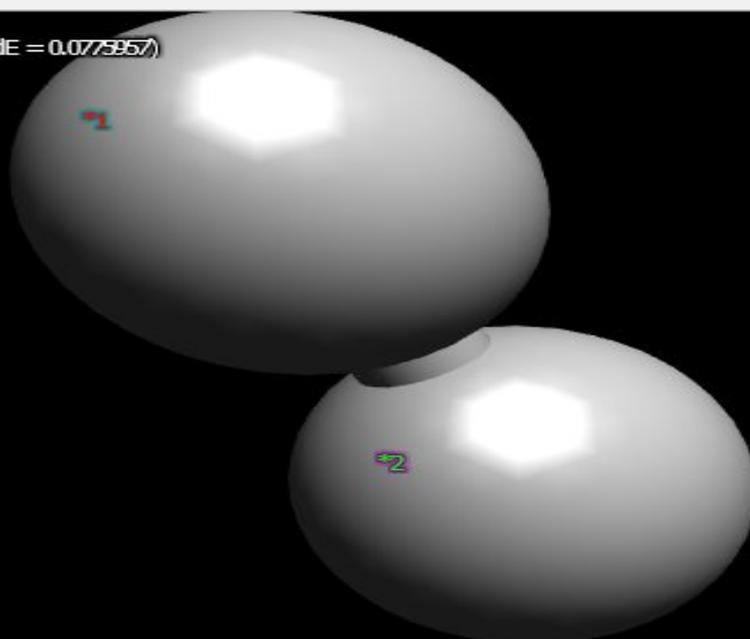


0,685 Å

View 1

AutoOpt: E = 2.51597 kJ/mol (dE = 0.0775957)

NumConstraints: 0



Distance(s):

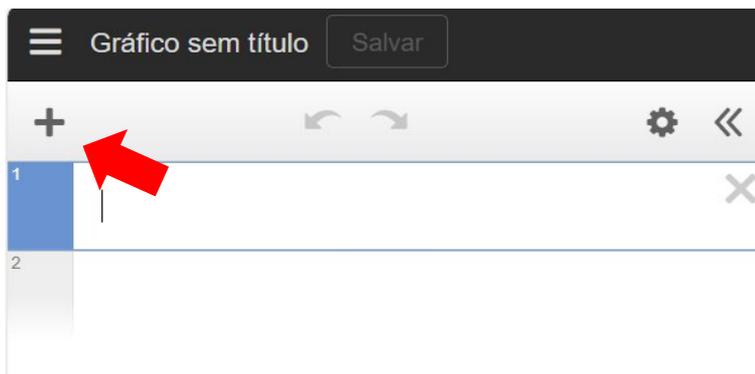


0,672 Å

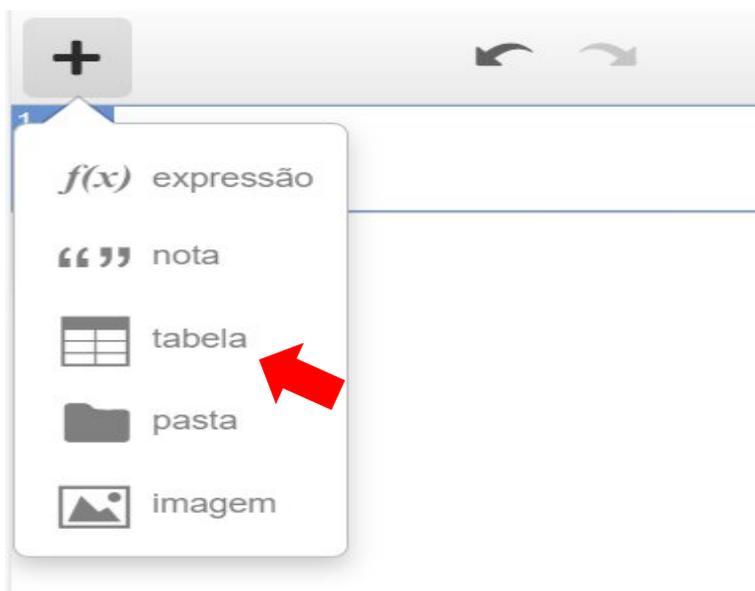
4.1.2 Determinando o gráfico das Energias Potenciais Elásticas em função da distância interatômica do H₂ através do Desmos.

Entrando no Desmos iremos fazer os seguintes procedimentos:

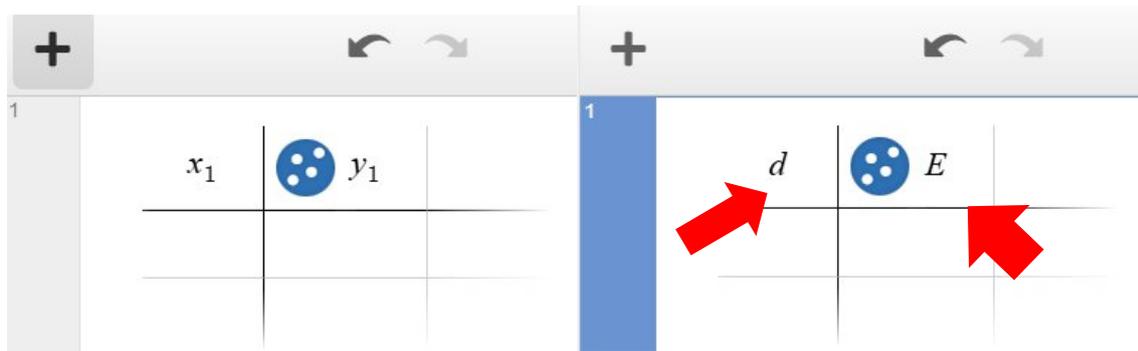
- Selecione no canto superior esquerdo no programa o ícone *Adicionar item*:



- Clique no ícone Tabela:



- Depois que você adicionar *tabela*, coloque na primeira coluna, no lugar de x_1 , substitua por d (Distâncias Interatômicas) e na segunda coluna, no lugar de y_2 , substitua por E (Energia Potencial Elástica da molécula diatômica):



- Vamos colocar os valores das distâncias interatômicas e as energias de ligação da molécula diatômica das capturadas anteriormente pelos *prints* de tela:

d		E
0.721		0.347873
0.757		4.75519
0.719		0.256235
0.763		5.99879
0.688		0.816948
0.768		7.26036
0.648		7.05184
0.745		2.75965
0.685		1.07462
0.672		2.51597

- Abaixo da tabela coloque a fórmula da energia potencial elástica da molécula diatômica. O sinal til (~) é o responsável em realizar o ajuste de curvas no Desmos:

d		E
0.721		0.347873
0.757		4.75519
0.719		0.256235
0.763		5.99879
0.688		0.816948
0.768		7.26036
0.648		7.05184
0.745		2.75965
0.685		1.07462
0.672		2.51597

$E \sim \frac{1}{2} k (d - d_0)^2$

- Após colocar a equação anterior, o Desmos irá mostrar os resultados da molécula H₂: A constante elástica k que liga os átomos, a distância de equilíbrio (mola relaxada):

$$E \sim \frac{1}{2} k (d - d_0)^2$$

PARÂMETROS DE REGRESSÃO ⓘ

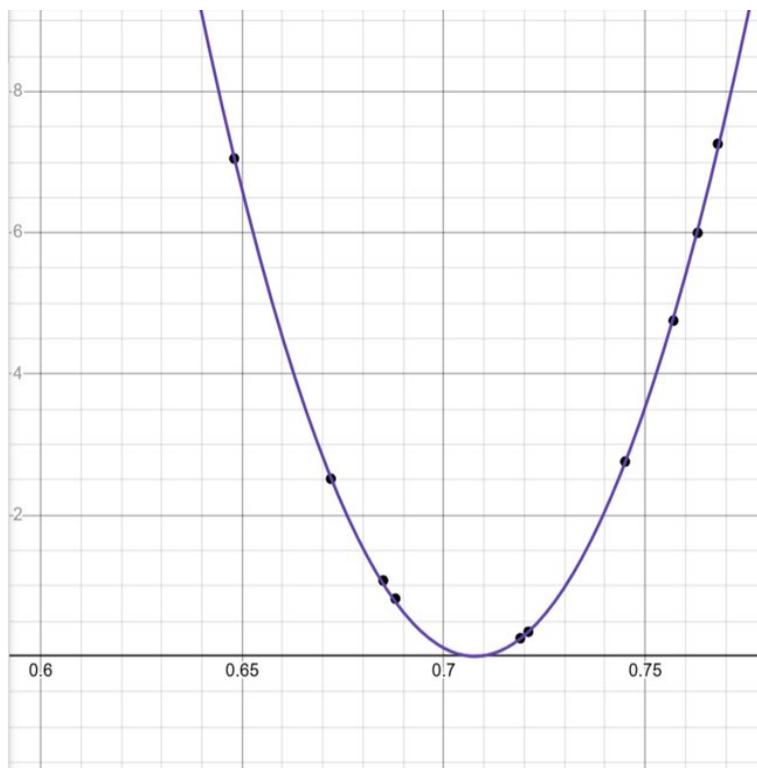
$k = 3960.01$

$d_0 = 0.707756$

Observe que as distâncias de ligação da tabela acima do H₂, estão próximos do valor médio, 74,114 pm (ou 0,74114 Å), como consta na literatura. Confira no QR code no PDF página 9:



- Também será gerado um gráfico da Energia Potencial Elástica *versus* distância interatômica do H₂. Faça os ajustes de curvas para aparecer todos os pontos, selecionando a tecla *Shift* e com a seta do *mouse* arraste os eixos do gráfico até aparecer todos os pontos da tabela:



4.2 Confeccionando a molécula diatômica O₂ (Oxigênio) no software Avogadro

- Vamos criar a molécula O₂: Primeiro passo clicando na *Ferramenta de Desenho* (lápis):



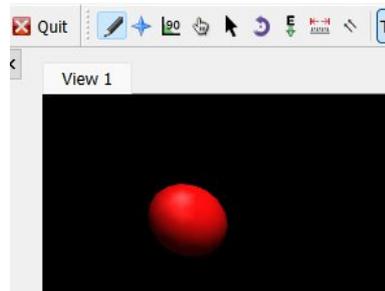
- Escolha o elemento Oxigênio e desative *Adjust Hydrogens* para deixar somente a molécula.

Element: Oxygen (8) ▼

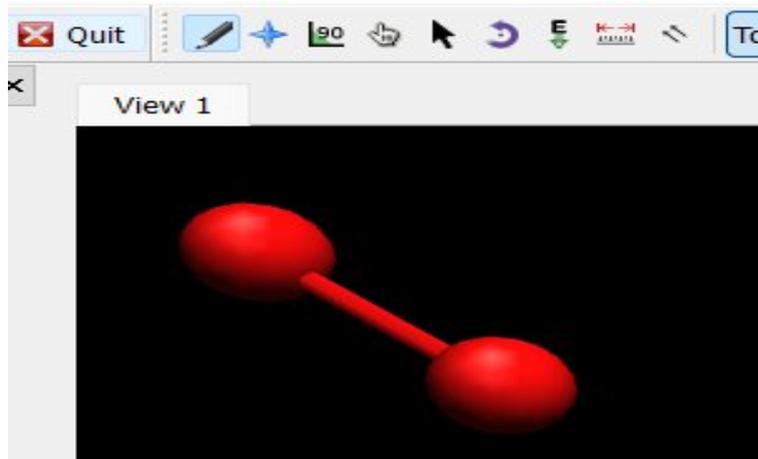
Bond Order: Single ▼

Adjust Hydrogens

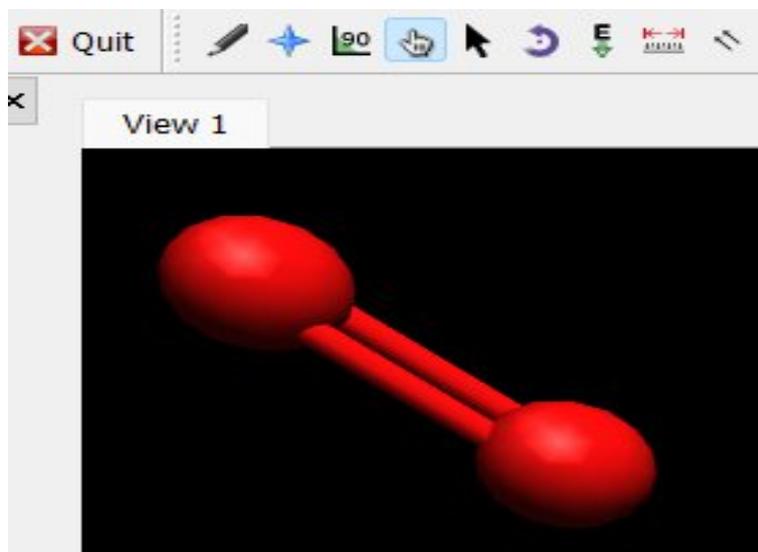
- Clique com o botão esquerdo em qualquer parte da tela negra do programa. Fazendo isso gerará um átomo de O:



- Agora clicando com o botão esquerdo em cima da molécula e arrastando o mouse produzirá uma ligação com outro átomo de oxigênio:



- Para gerar uma molécula diatômica O₂, clique uma vez na ligação para a molécula ter uma ligação dupla O = O:



4.2.1 Obtendo as energias de ligação E, distância interatômica d e o gráfico (E x d) do O₂:

- Agora o próximo passo será a obtenção das energias de ligação e a distância interatômica iremos, clicar com o mouse com o botão esquerdo no ícone *Ferramenta de Otimização Automática* abaixo:



- Selecione *Steepest Descent* (Descida mais íngreme) e em seguida clique em Start (começar):

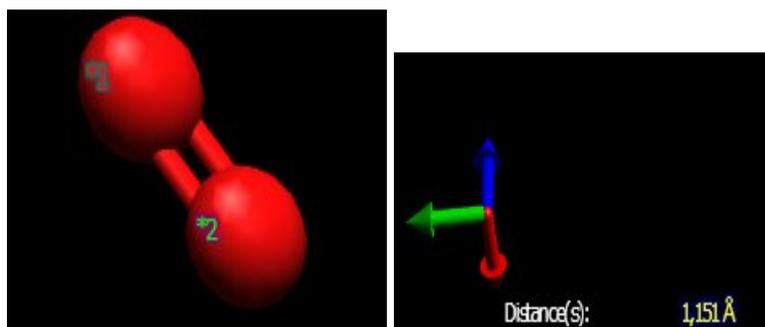


- Observe que no canto superior esquerdo da tela preta irá ver a energia de ligação dos dois átomos de oxigênio quando a molécula está na sua posição de equilíbrio (veja abaixo); Vamos também obter a distância interatômica da molécula O₂ na posição de equilíbrio associada aquela energia (ou distância das duas moléculas de O) selecionando o ícone *Clique Para Medir* abaixo:

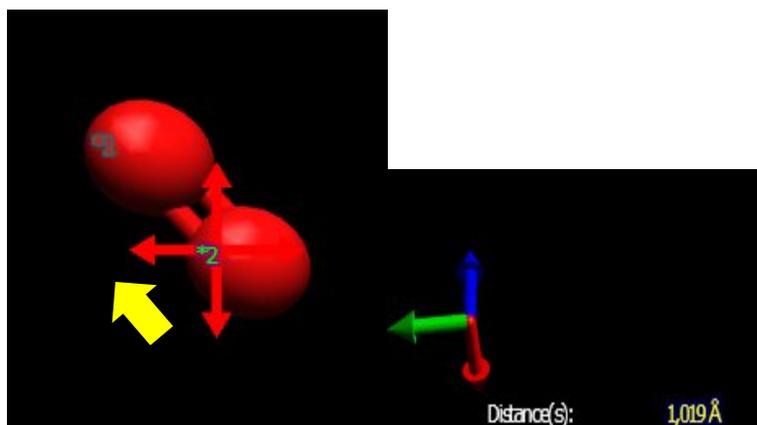
AutoOpt: E = 6.44547e-20 kJ/mol (dE = 0)



- Após selecionar o ícone *Clique Para Medir*, dê apenas um clique em cada átomo da molécula. Você determinará a posição de equilíbrio (observe que a posição foi de 1,151 Å):



- Vamos contrair a “mola” que liga as duas moléculas antes de colocá-la para a oscilar. Primeiro selecione Stop (parar), na sequência clique na *Ferramenta De Manipulação* e empurre a molécula 2 até a molécula 1 sem encostá-las. Observe a distância que ela ficou após a contração na outra figura.



- Agora selecionamos a *Ferramenta de Otimização Automática*, em seguida clique em *Algorithm : Molecular Dynamics (300 k)* [Dinâmica Molecular (300 K)].



Algorithm:
Molecular Dynamics (300K) ▼

- Próximo passo é clicar em *Start* (começar):

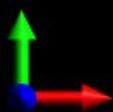
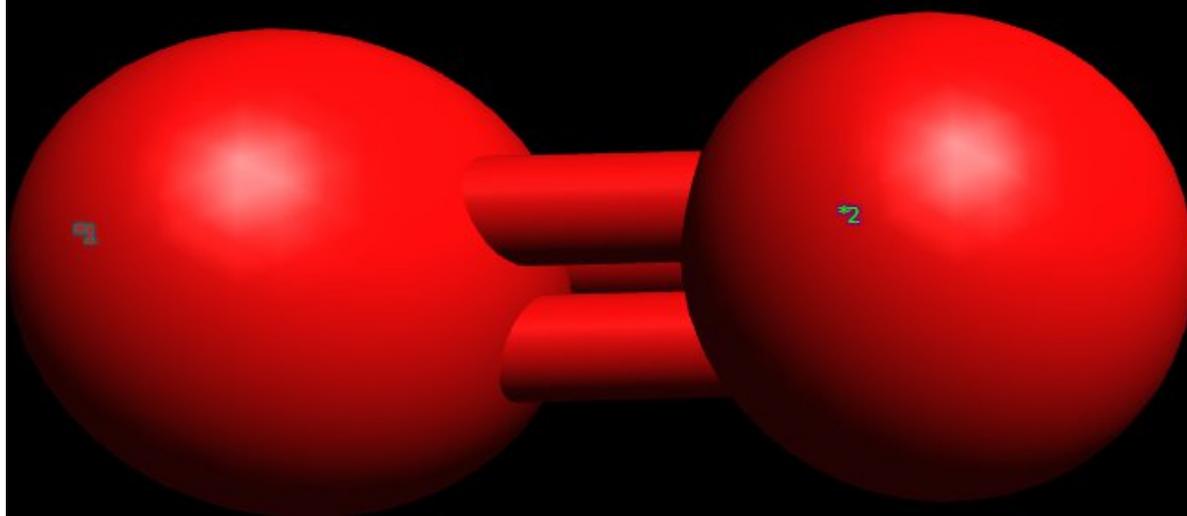


- Agora iremos fazer capturas de tela (*prints*) e captar as imagens referentes às Energias (setas azuis) e as *distâncias interatômicas* (setas vermelhas) associadas (vamos realizar 10 *prints*):

A

AutoOpt: E = 31.0708 kJ/mol (dE = 0.300669)

NumConstraints: 0

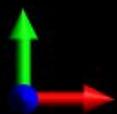
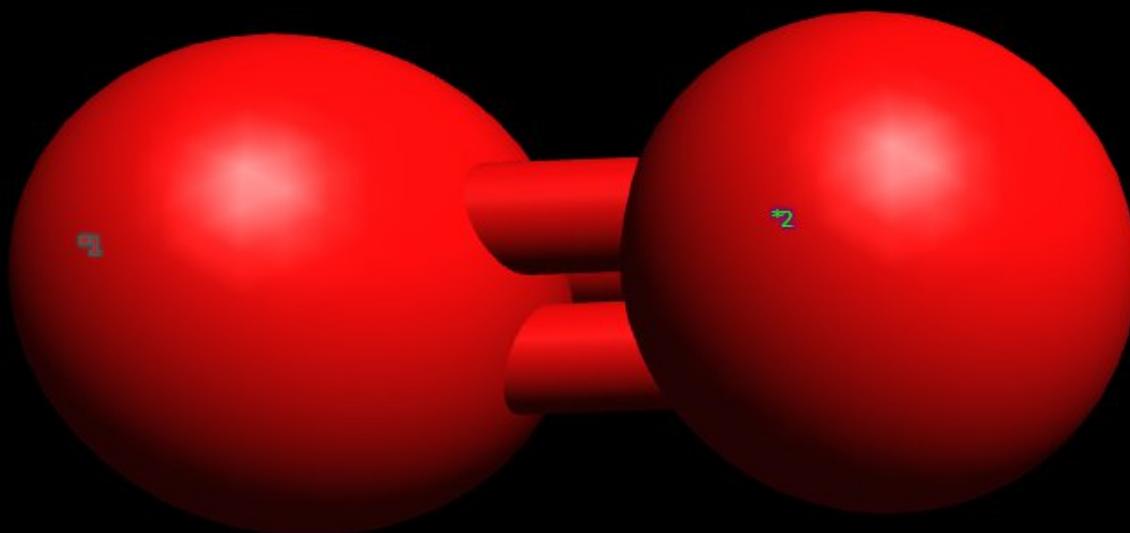


Distance(s):

1,165 Å

AutoOpt: E = 8.02588 kJ/mol (dE = 0.198935)

NumConstraints: 0

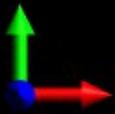
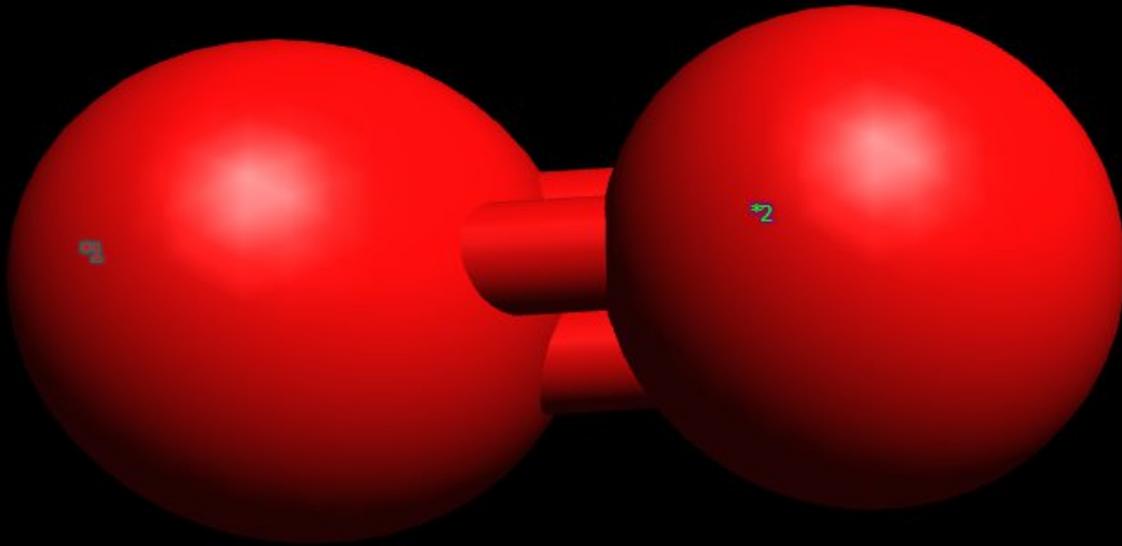


Distance(s):

1,053 Å

AutoOpt: E = 41.7262 kJ/mol (dE = 0.282768)

NumConstraints: 0



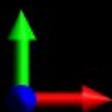
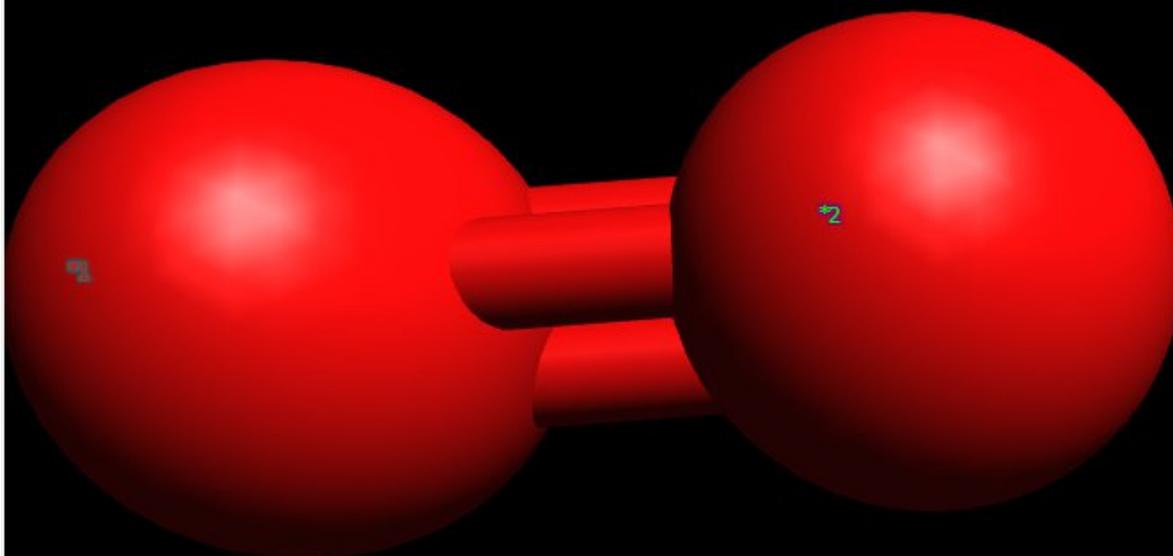
Distance(s):



1,005 Å

AutoOpt: E = 13.8056 kJ/mol (dE = 0.247639)

NumConstraints: 0



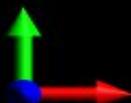
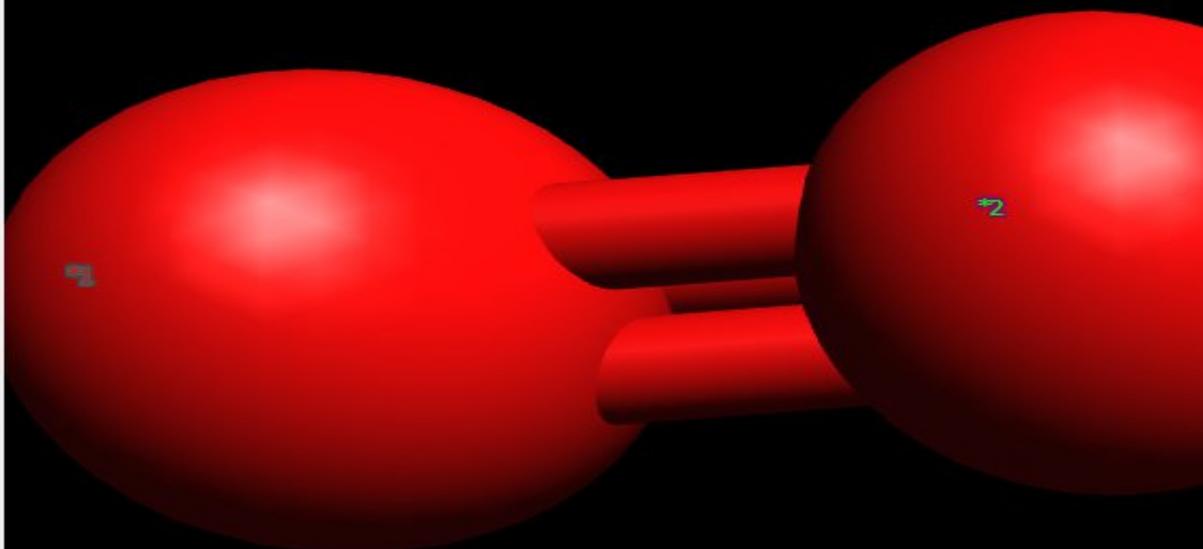
Distance(s):



1,140 Å

AutoOpt: E = 23.0077 kJ/mol (dE = 0.289729)

NumConstraints: 0



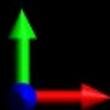
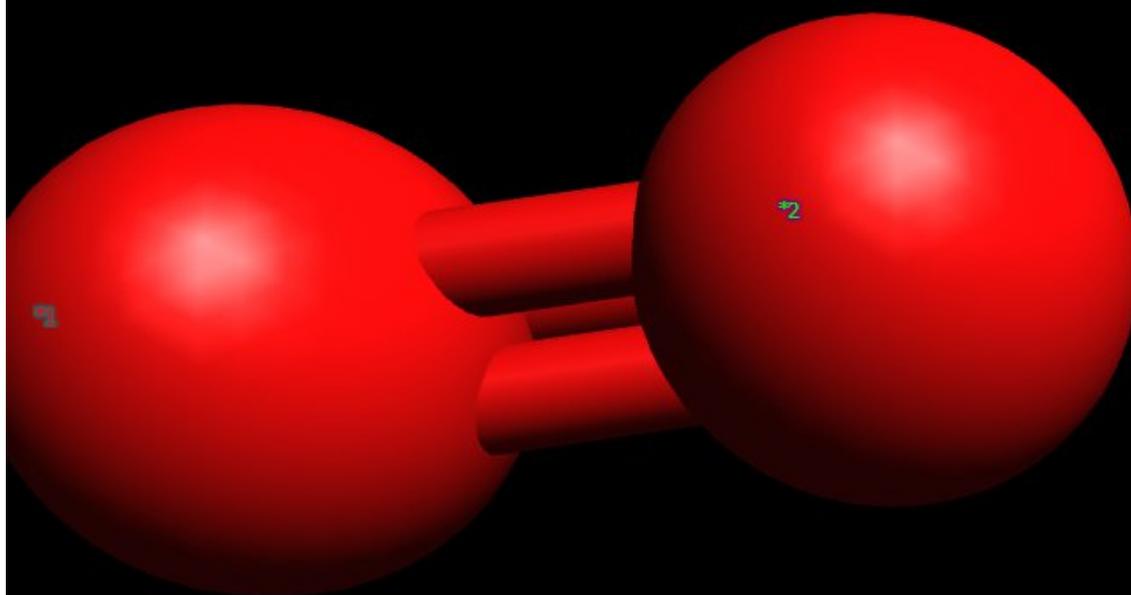
Distance(s):



1,155 Å

AutoOpt: E = 22.5044 kJ/mol (dE = 0.28753)

NumConstraints: 0

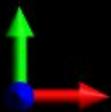
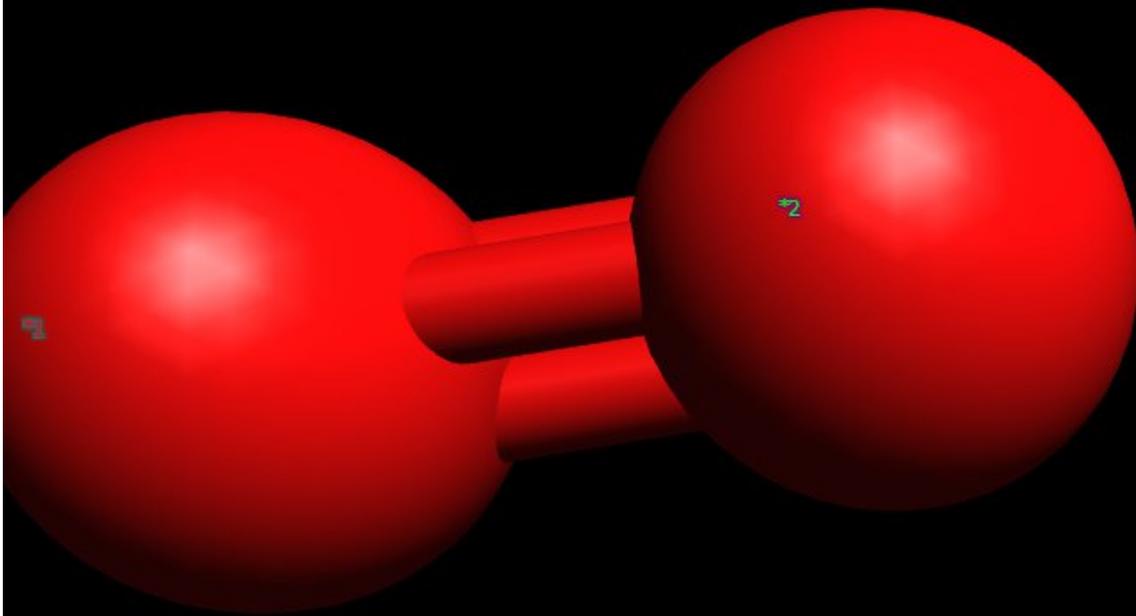


Distance(s):

1,154 Å

AutoOpt: E = 34.5663 kJ/mol (dE = 0.299234)

NumConstraints: 0



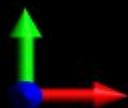
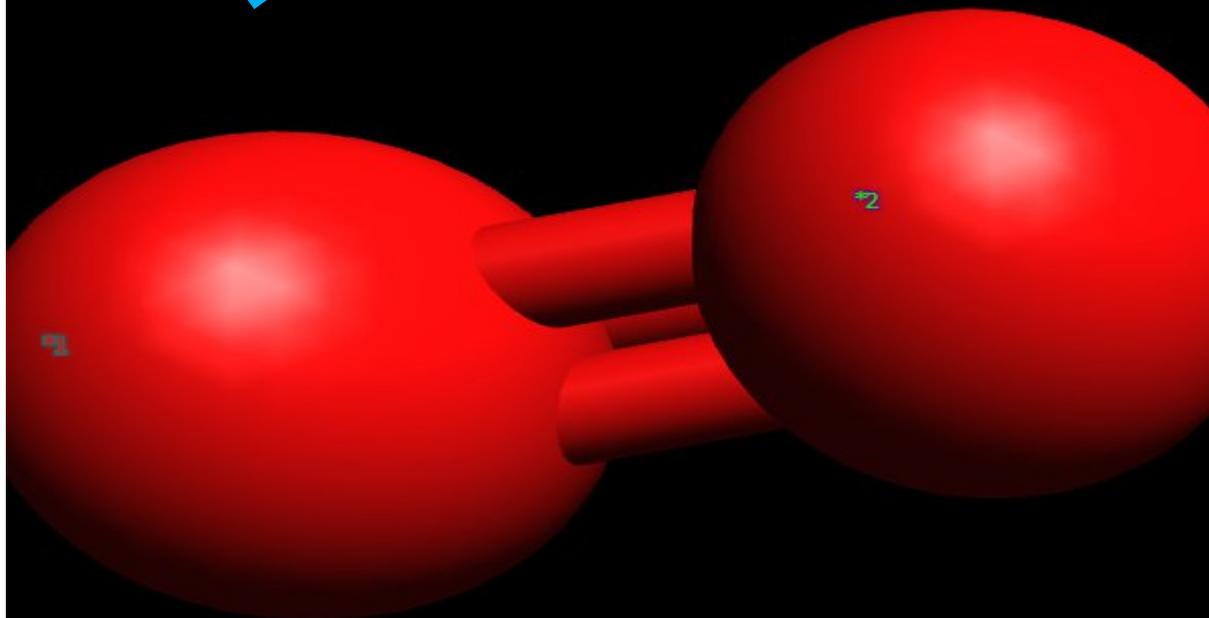
Distance(s):



1,169 Å

AutoOpt: E = 1.0067 kJ/mol (dE = 0.0738775)

NumConstraints: 0



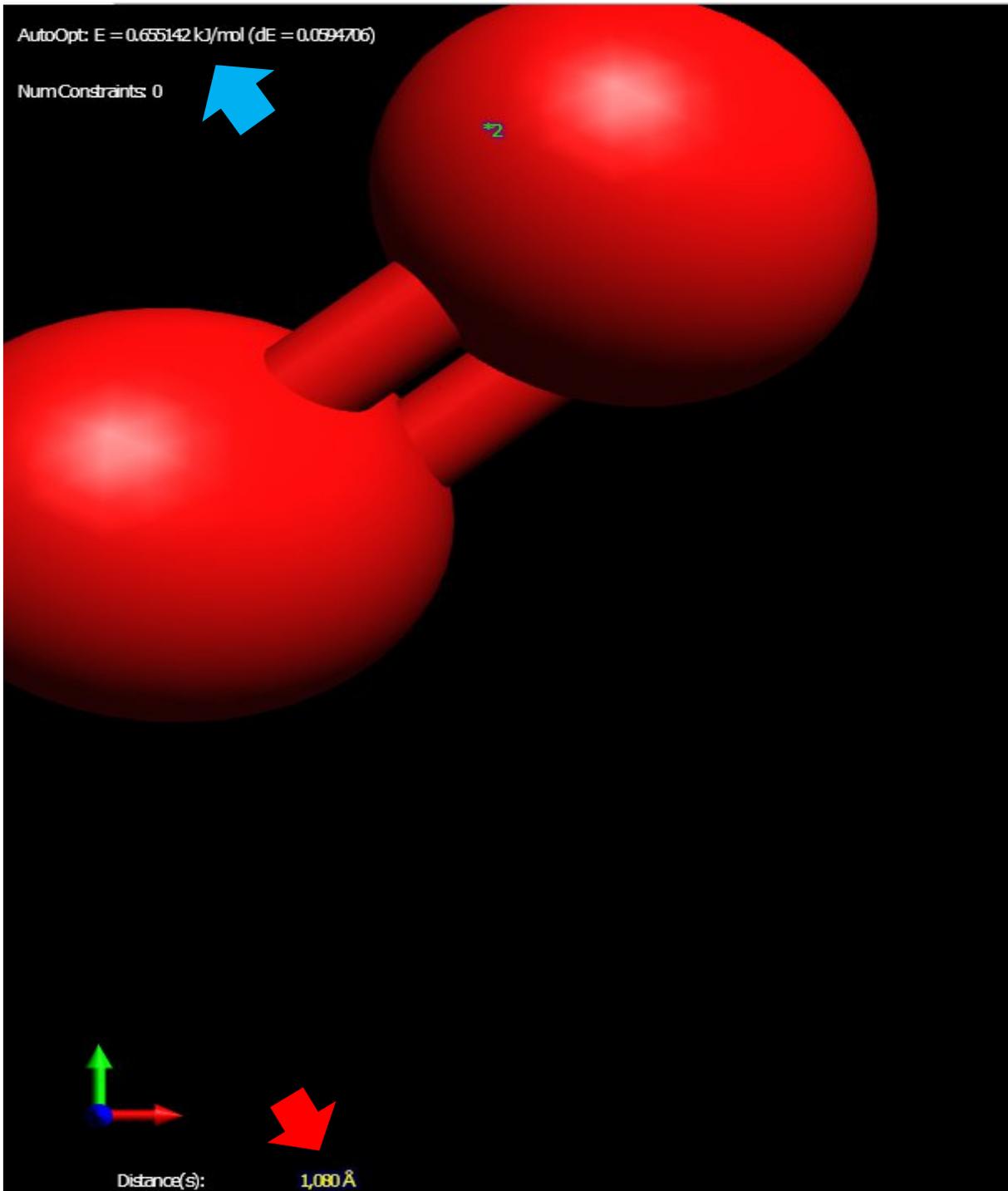
Distance(s):



1,104 Å

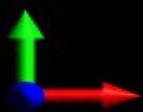
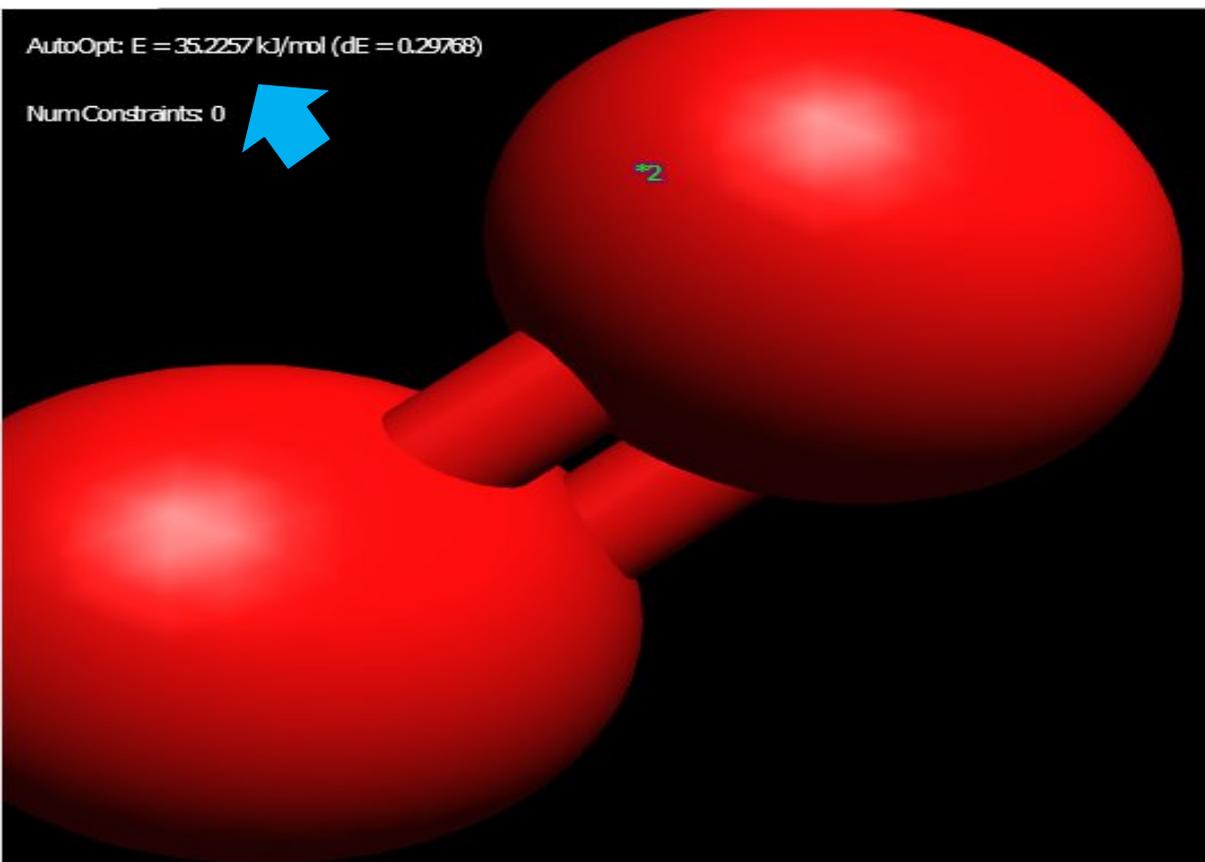
AutoOpt: E = 0.655142 kJ/mol (dE = 0.0594706)

NumConstraints: 0



AutoOpt: E = 35.2257 kJ/mol (dE = 0.29768)

NumConstraints: 0



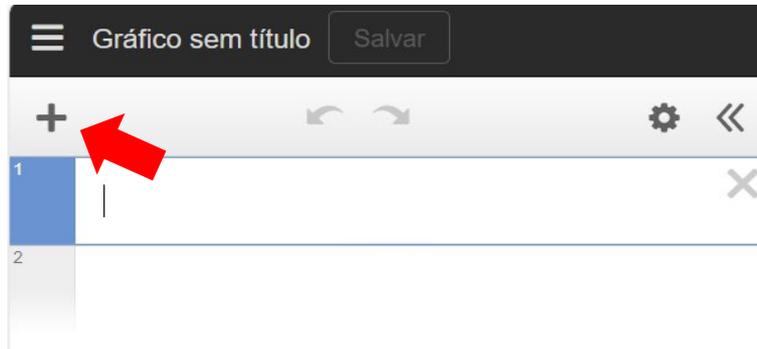
Distance(s):

1,012 Å

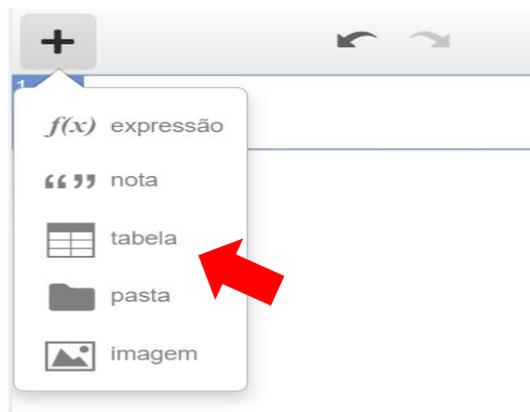
4.2.2 Determinando o gráfico das Energias Potenciais Elásticas em função da distância interatômica do O₂ através do Desmos.

Entrando no Desmos iremos fazer os seguintes procedimentos:

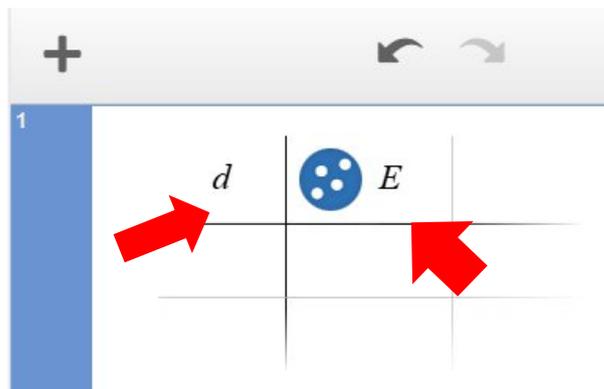
- Selecione no canto superior esquerdo no programa o ícone *Adicionar item*:



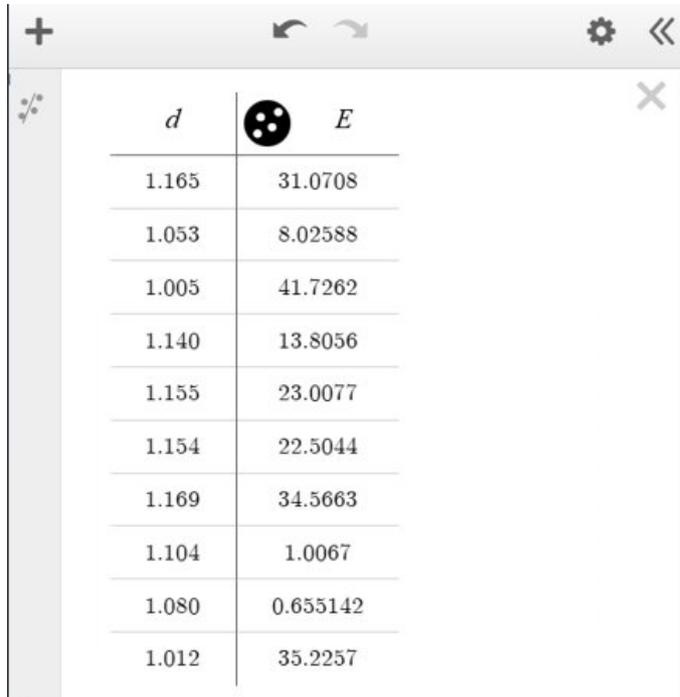
- Clique no ícone Tabela:



- Depois que você adicionar *tabela*, coloque na primeira coluna, no lugar de x_1 , substitua por d (Distâncias Interatômicas) e na segunda coluna, no lugar de y_2 , substitua por E (Energia Potencial Elástica da molécula diatômica):

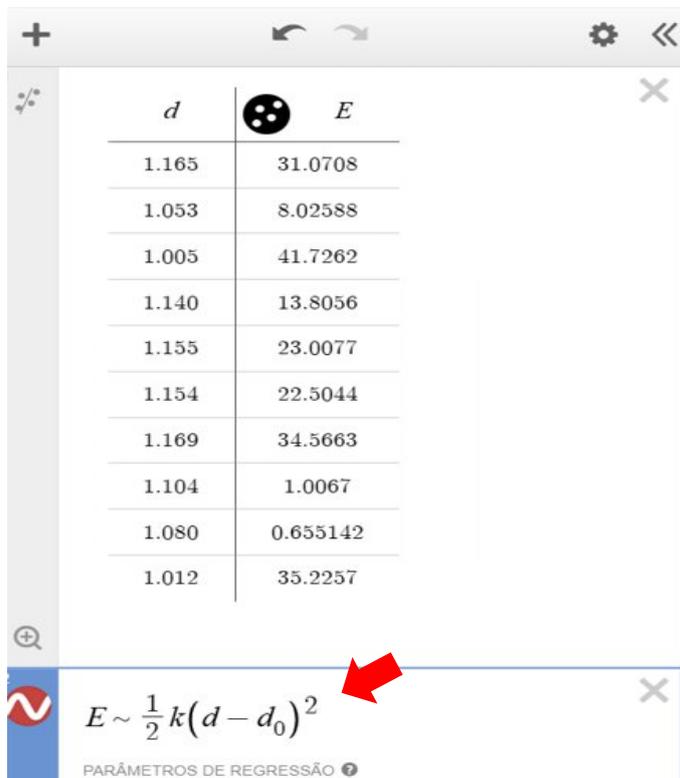


- Vamos colocar os valores das distâncias interatômicas e as energias de ligação da molécula diatômica coletadas através das capturas de tela descritas anteriormente:



d		E
1.165		31.0708
1.053		8.02588
1.005		41.7262
1.140		13.8056
1.155		23.0077
1.154		22.5044
1.169		34.5663
1.104		1.0067
1.080		0.655142
1.012		35.2257

- Abaixo da tabela coloque a fórmula da energia potencial elástica da molécula diatômica:

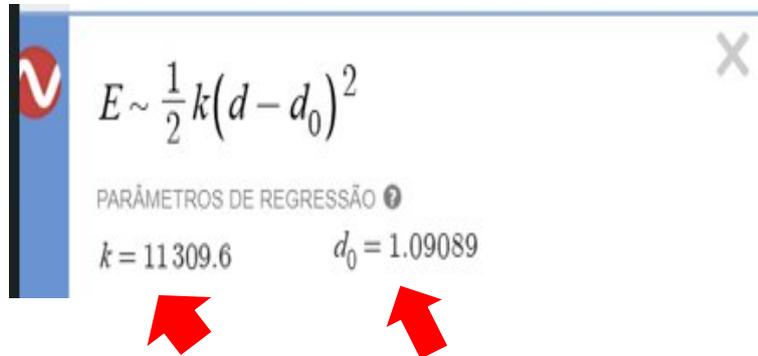


d		E
1.165		31.0708
1.053		8.02588
1.005		41.7262
1.140		13.8056
1.155		23.0077
1.154		22.5044
1.169		34.5663
1.104		1.0067
1.080		0.655142
1.012		35.2257

 $E \sim \frac{1}{2} k (d - d_0)^2$

PARÂMETROS DE REGRESSÃO

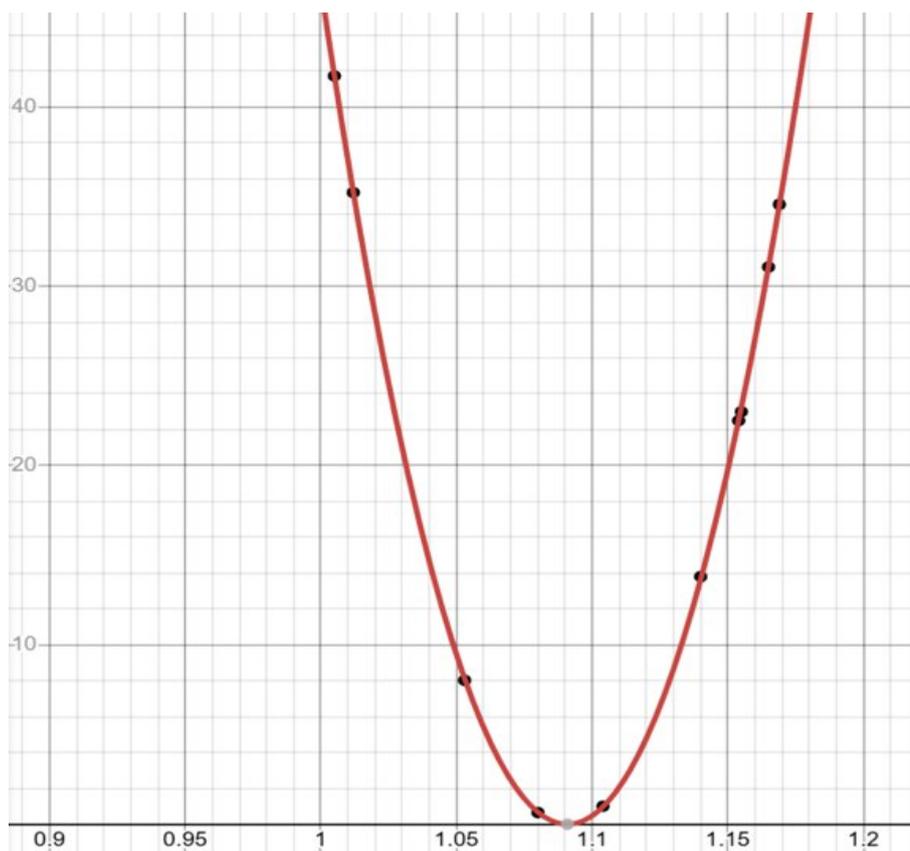
- Após colocar a equação anterior, o Desmos irá mostrar os resultados da molécula O₂: A constante elástica k que liga os átomos, a distância de equilíbrio (mola relaxada):



Observe que as distâncias de ligação da tabela acima do O₂, estão próximos do valor médio, 120,74 pm (ou 1,2074 Å), como consta na literatura. Confira no QR code no PDF página 10:



- Também será gerado um gráfico da Energia Potencial Elástica X distância interatômica do O₂. Faça os ajustes de curvas para aparecer todos os pontos, selecionando a tecla *Shift* e com a seta do *mouse* arraste os eixos do gráfico até aparecer todos os pontos da tabela:

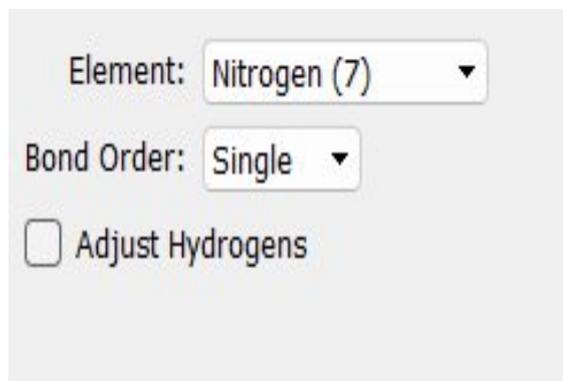


4.3 Confeccionando a molécula diatômica N₂ (Nitrogênio) no software Avogadro

- Vamos criar a molécula N₂: Primeiro passo clicando na *Ferramenta de Desenho* (lápis):

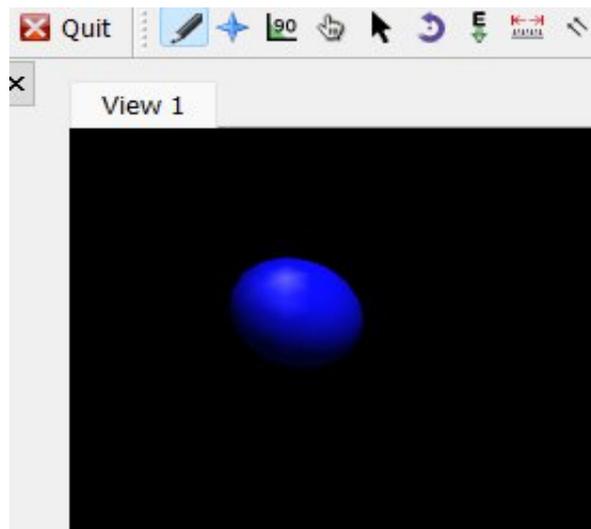


- Escolha o elemento Nitrogênio e desative *Adjust Hydrogens* para deixar somente a molécula.

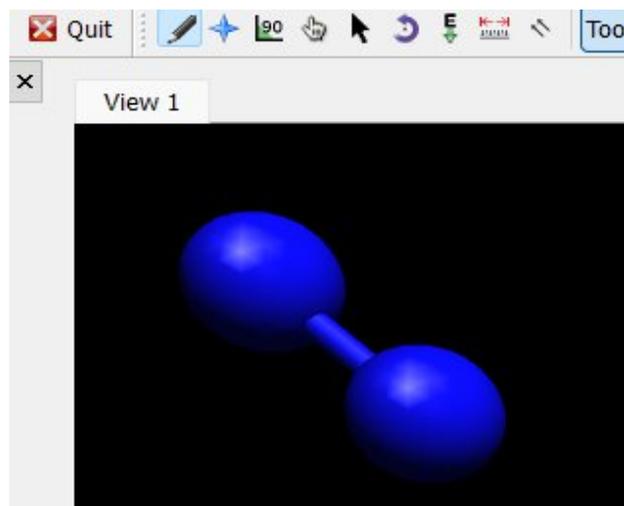


- Clique com o botão esquerdo em qualquer parte da tela negra do programa. Fazendo isso

gerará um átomo de N:

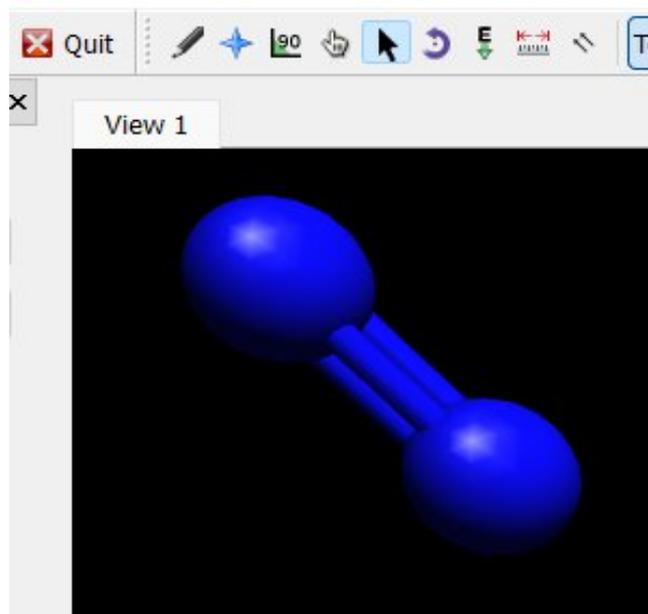


- Agora clicando com o botão esquerdo em cima da molécula e arrastando o mouse produzirá uma ligação com outro átomo de Nitrogênio:



- ara gerando uma molécula diatômica Oxigênio O_2 clique duas vezes na ligação para a molécula ter uma ligação tripla $N \equiv N$:

P

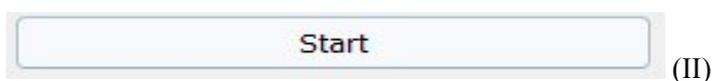


4.3.1 Obtendo as energias de ligação E , distância interatômica d e o gráfico ($E \times d$) do N_2 :

• Agora o próximo passo será a obtenção das energias de ligação e a distância interatômica iremos, clicar com o mouse com o botão esquerdo no ícone *Ferramenta de Otimização Automática* abaixo:



- Selecione *Steepest Descent* (Descida mais íngreme) e em seguida clique em Start (começar):



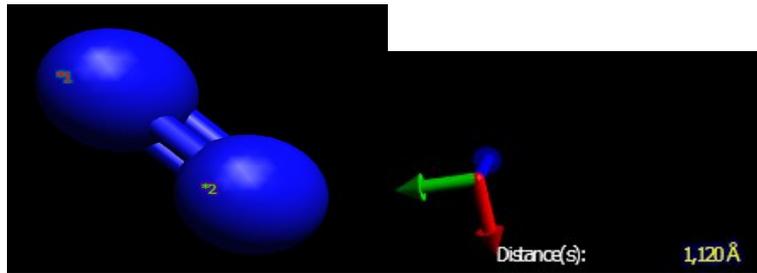
• Observe que no canto superior esquerdo da tela preta irá ver a energia de ligação dos dois átomos de oxigênio quando a molécula está na sua posição de equilíbrio (veja abaixo); Vamos também obter a distância interatômica da molécula N_2 na posição de equilíbrio associada aquela energia (ou distância das duas moléculas de N) selecionando o ícone *Clique Para Medir* abaixo:

AutoOpt: $E = 6.63931e-19$ kJ/mol ($dE = 0$)

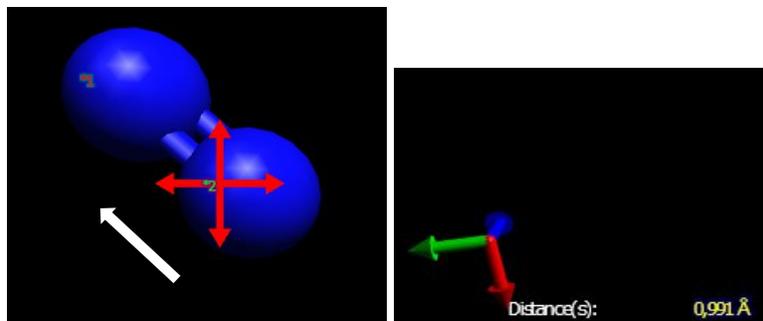


- Após selecionar o ícone *Clique Para Medir*, dê apenas um clique em cada átomo da molécula.

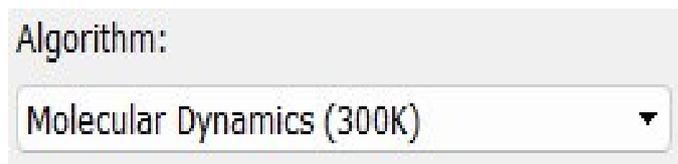
Você determinará a posição de equilíbrio (observe que a posição foi de 1,120Å):



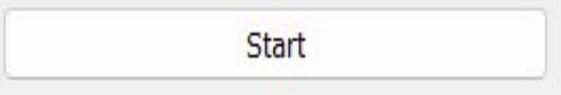
- Vamos contrair a “mola” que liga as duas moléculas antes de colocá-la para oscilar. Primeiro selecione Stop (parar), na sequência clique na *Ferramenta De Manipulação* e empurre a molécula 2 até a molécula 1 sem encostá-las. Observe a distância que ela ficou após a contração na outra figura.



- Agora selecionamos a *Ferramenta de Otimização Automática*, em seguida clique em *Algorithm : Molecular Dynamics (300 k)* [Dinâmica Molecular (300 K)].



- Próximo passo é clicar em *Start* (começar):

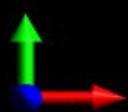


Start

• A
gora iremos fazer as capturas de tela (prints) e captar as imagens referentes às Energias (setas azuis) e as *distâncias interatômicas* (setas vermelhas) associadas (vamos capturar 10 telas):

AutoOpt: E = 48.9671 kJ/mol (dE = 0.293677)

NumConstraints: 0



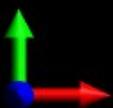
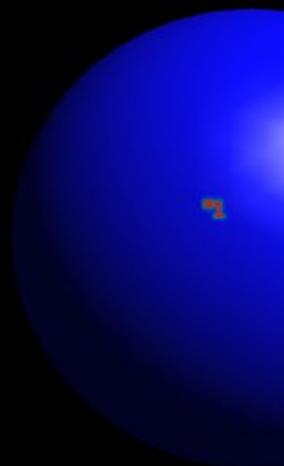
Distance(s):

1.207 Å

Messages

AutoOpt: E = 1.0426 kJ/mol (dE = 0.0857531)

NumConstraints 0

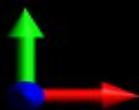


Distance(s):

1,133 Å

AutoOpt: E = 44.4088 kJ/mol (dE = 0.317658)

NumConstraints: 0



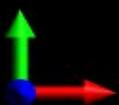
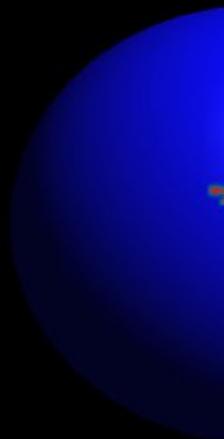
Distance(s):



1,203 Å

AutoOpt: E = 1.27967 kJ/mol (dE = 0.0950299)

NumConstraints: 0



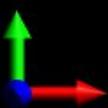
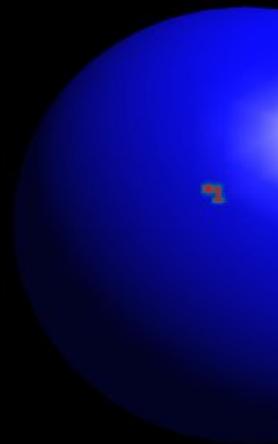
Distance(s):



1,134 Å

AutoOpt: E = 23.4428 kJ/mol (dE = 0.332352)

NumConstraints: 0



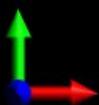
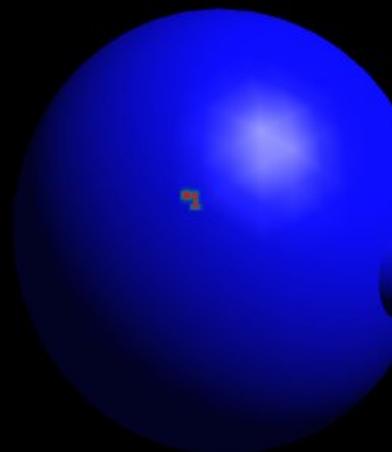
Distance(s):

1,060 Å

Messages

AutoOpt: E = 60.7105 kJ/mol (dE = 0.149581)

umConstraints: 0



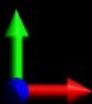
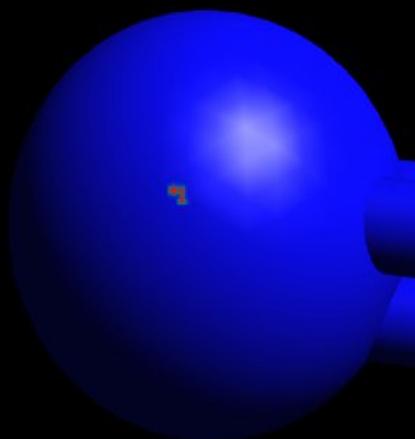
Distance(s):

1,023 Å

Messages

AutoOpt: E = 20.7594 kJ/mol (dE = 0.324121)

NumConstraints: 0



Distance(s):

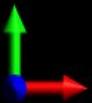
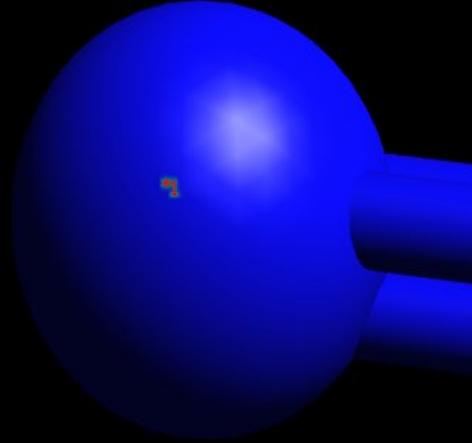


1,063 Å

Messages

AutoOpt: E = 8.92636 kJ/mol (dE = 0.238279)

NumConstraints: 0



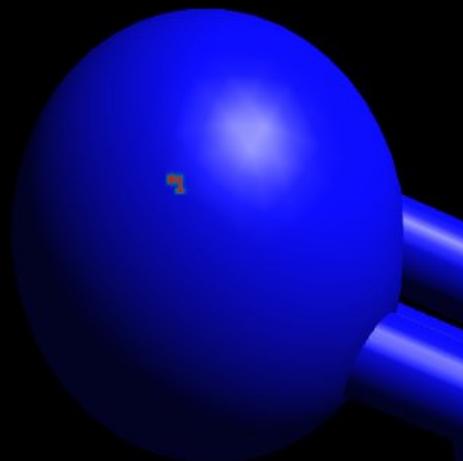
Distance(s):

1,157 Å

Messages

AutoOpt: E = 0.11235 kJ/mol (dE = 0.00568047)

NumConstraints: 0



Distance(s):

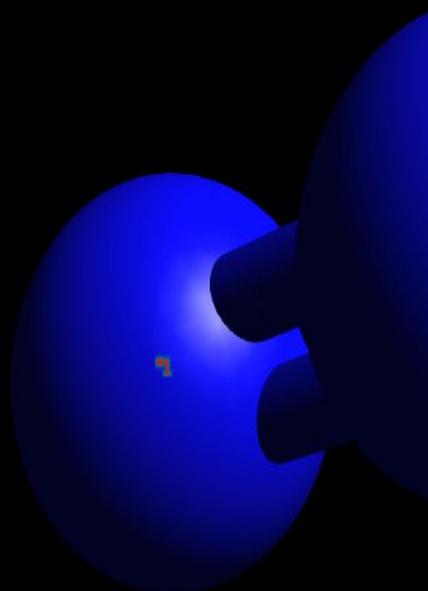


1,116 Å

Messages

AutoOpt: E = 0.595468 kJ/mol (dE = 0.00883625)

NumConstraints 0

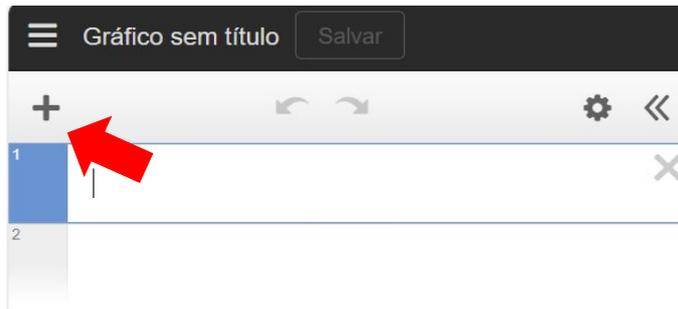


Distance(s): 1,110 Å

4.3.2 Determinando o gráfico das Energias Potenciais Elásticas em função da distância interatômica do N₂ através do Desmos.

Entrando no Desmos iremos fazer os seguintes procedimentos.

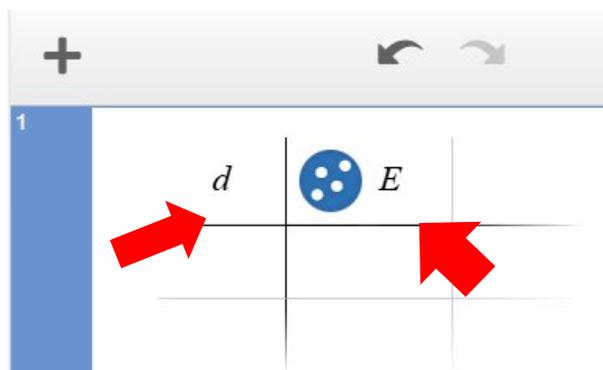
- Selecione no canto superior esquerdo no programa o ícone *Adicionar item*:



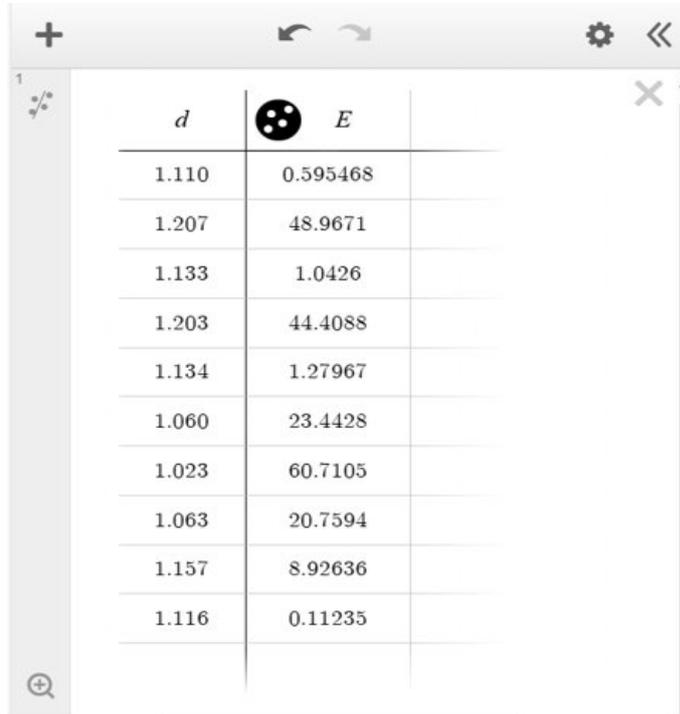
- Clique no ícone Tabela:



• Depois que você adicionar *tabela*, coloque na primeira coluna, no lugar de x_1 , substitua por d (Distâncias Interatômicas) e na segunda coluna, no lugar de y_2 , substitua por E (Energia Potencial Elástica da molécula diatômica):



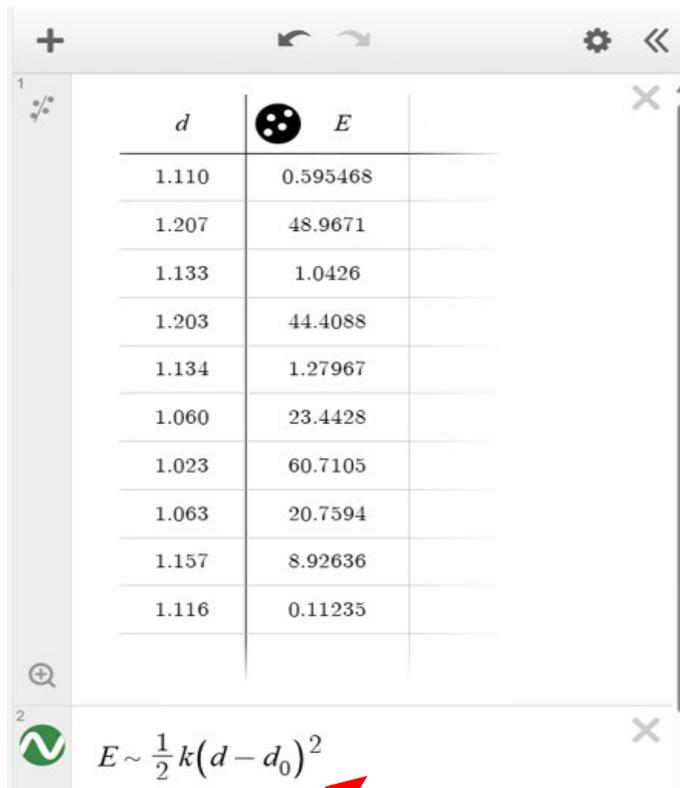
- Vamos colocar os valores das distâncias interatômicas e as energias de ligação da molécula diatômica capturadas pelos prints realizados anteriormente.



A screenshot of a data table with two columns: d and E . The table contains 11 rows of data. The first row has a value of 1.110 in the d column and 0.595468 in the E column. The second row has 1.207 and 48.9671. The third row has 1.133 and 1.0426. The fourth row has 1.203 and 44.4088. The fifth row has 1.134 and 1.27967. The sixth row has 1.060 and 23.4428. The seventh row has 1.023 and 60.7105. The eighth row has 1.063 and 20.7594. The ninth row has 1.157 and 8.92636. The tenth row has 1.116 and 0.11235. The eleventh row is empty. The table is displayed in a window with a search icon on the left and a close icon on the right.

d	E
1.110	0.595468
1.207	48.9671
1.133	1.0426
1.203	44.4088
1.134	1.27967
1.060	23.4428
1.023	60.7105
1.063	20.7594
1.157	8.92636
1.116	0.11235

- Abaixo da tabela coloque a fórmula da energia potencial elástica da molécula diatômica:

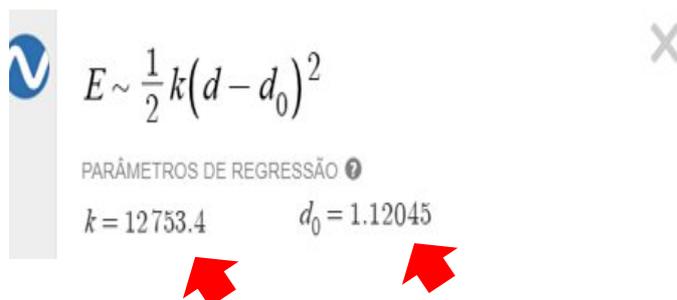


A screenshot of the same data table as above, but with a formula added below it. The formula is $E \sim \frac{1}{2}k(d - d_0)^2$. A red arrow points to the formula. The table is displayed in a window with a search icon on the left and a close icon on the right.

d	E
1.110	0.595468
1.207	48.9671
1.133	1.0426
1.203	44.4088
1.134	1.27967
1.060	23.4428
1.023	60.7105
1.063	20.7594
1.157	8.92636
1.116	0.11235

$E \sim \frac{1}{2}k(d - d_0)^2$

- Após colocar a equação anterior, o Desmos irá mostrar os resultados da molécula N₂: A constante elástica k que liga os átomos, a distância de equilíbrio (mola relaxada):



$E \sim \frac{1}{2} k (d - d_0)^2$

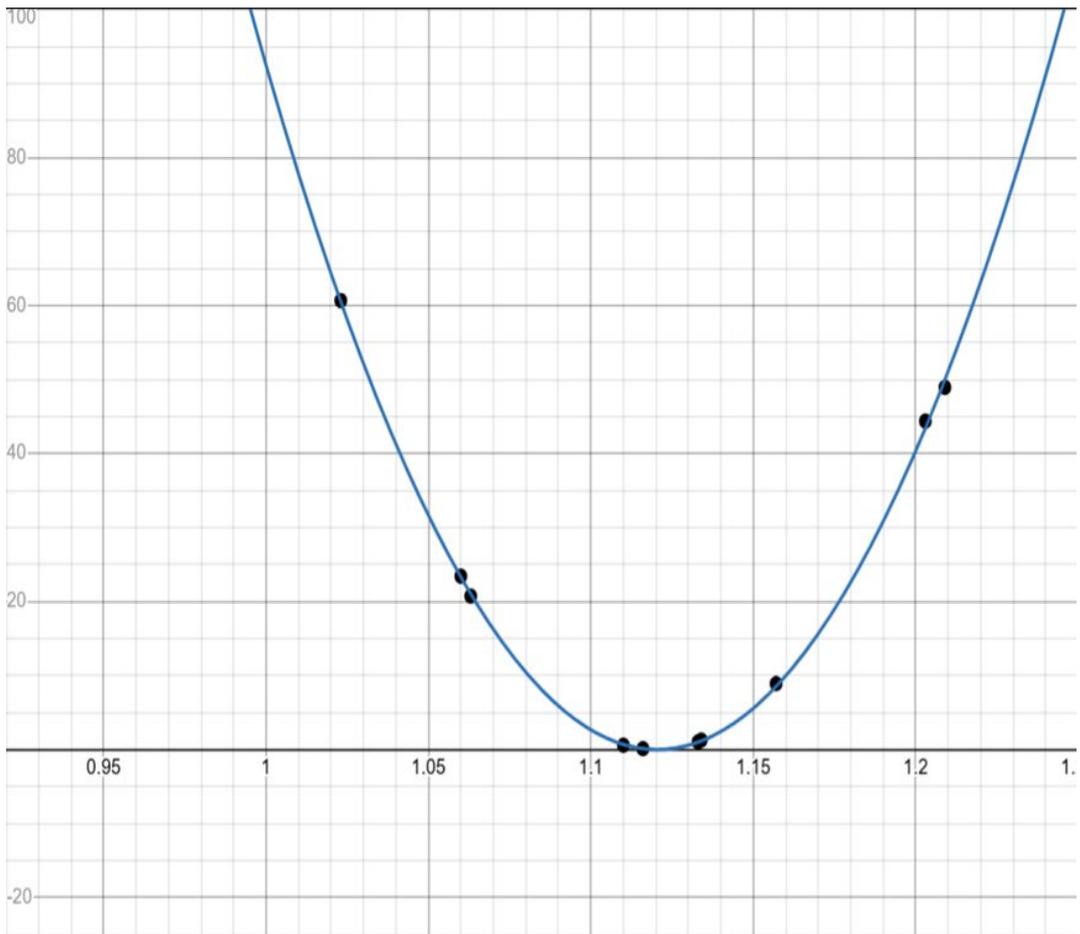
PARÂMETROS DE REGRESSÃO ⓘ

$k = 12753.4$ $d_0 = 1.12045$

Observe que as distâncias de ligação da tabela acima do N₂, estão próximos do valor médio, 109,77 pm (ou 1,0977 Å), como consta na literatura. Confira no QR code no PDF página 9:



- Também será gerado um gráfico da Energia Potencial Elástica X distância interatômica do N₂. Faça os ajustes de curvas para aparecer todos os pontos, selecionando a tecla *Shift* e com a seta do *mouse* arraste os eixos do gráfico até aparecer todos os pontos da tabela:



5 ATIVIDADES: TEÓRICAS E PROBLEMAS

Nessa sessão iremos colocar algumas questões sobre o Movimento Harmônico Simples. A atividade 1 serve como uma atividade diagnóstica e a atividade 2 uma atividade de verificação dos conhecimentos teóricos aprendidos nas aulas da temática MHS.

ATIVIDADE 1

1ª) Qual das alternativas melhor descreve um movimento oscilatório?

- a) Um movimento que ocorre em linha reta e a uma velocidade constante.
- b) Um movimento repetitivo em torno de uma posição de equilíbrio.
- c) Um movimento que ocorre em um círculo e com velocidade variável.

2ª) O que caracteriza a amplitude de um movimento oscilatório?

- a) A distância máxima entre o ponto de equilíbrio e o ponto extremo da oscilação.
- b) O tempo necessário para completar uma oscilação completa.
- c) A velocidade máxima alcançada durante a oscilação.

3ª) Qual dos exemplos a seguir representa um movimento oscilatório?

- a) Um carro se movimentando em linha reta em uma estrada.
- b) Um pêndulo balançando para frente e para trás.
- c) Uma bola rolando colina abaixo.

4ª) O que é o período de um movimento oscilatório?

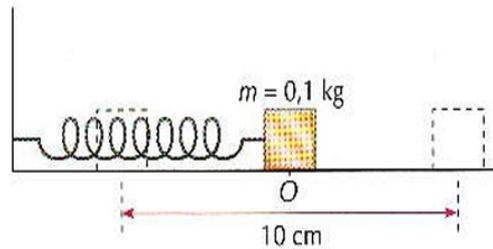
- a) O tempo necessário para o objeto completar uma única oscilação.
- b) A velocidade máxima alcançada pelo objeto durante a oscilação.
- c) A altura máxima alcançada pelo objeto durante a oscilação.

5ª) Em um movimento oscilatório, o que acontece quando o objeto está na posição de equilíbrio?

- a) A velocidade do objeto é máxima e a aceleração é zero.
- b) A velocidade do objeto é zero e a aceleração é máxima.
- c) Tanto a velocidade quanto a aceleração do objeto são máximas.

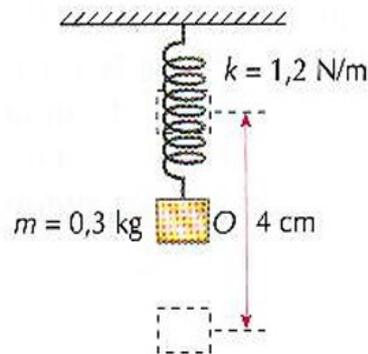
ATIVIDADE 2

1ª) Qual é a **frequência** do MHS da figura abaixo? A posição de equilíbrio corresponde ao ponto O, sendo indicados os extremos da oscilação. Não há força dissipativas (constante da mola: $k = 0,4\pi^2 \text{ N/m}$).



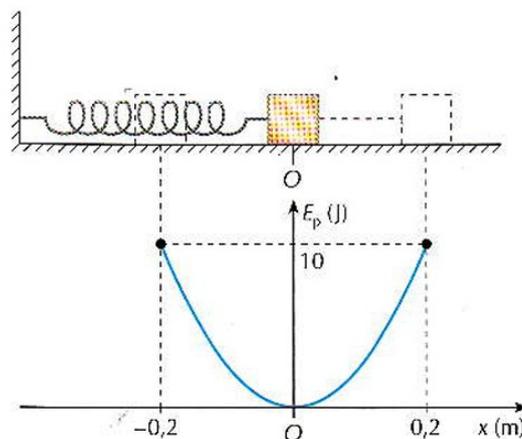
- a) 0,5 s
- b) 1 s
- c) 2 s

2ª) Qual é a **amplitude** do MHS da figura abaixo? A posição de equilíbrio corresponde ao ponto O, sendo indicados os extremos da oscilação. Não há forças dissipativas.



- a) 4 cm
- b) 2 cm
- c) 1 cm

3ª) Uma partícula oscila em torno de um ponto O, num plano horizontal, realizando um MHS. O gráfico representa a energia potencial acumulada na mola em função da abscissa x. Quanto vale a constante elástica da mola?

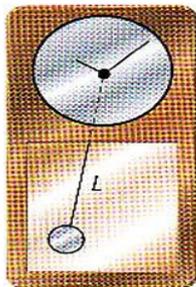


- a) 300 N/m
- b) 400 N/m

c) 500 N/m

4ª) (Adaptada) Um antigo relógio, figura abaixo, é calibrado no frio inverno gaúcho. Considerando que o período deste sistema oscilante é dado por:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

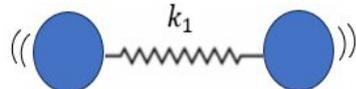


em que L é o comprimento do fio e g é aceleração local da gravidade. Se o relógio for transportado do Nordeste para a superfície da Lua, nas mesmas condições de temperatura, o seu horário:

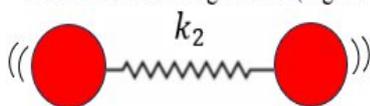
- a) Atrasará
- b) Adiantará
- c) Não sofrerá mudança

5ª) As moléculas diatômicas, como o hidrogênio (H_2) e o oxigênio (O_2), podem ser simplifiadamente modeladas como sistemas massa-mola. Nessa analogia, os átomos são representados por massas pontuais e a ligação química entre eles é comparada a uma mola ideal. Quando perturbados de sua posição de equilíbrio, esses sistemas executam um movimento oscilatório conhecido como movimento harmônico simples (MHS).

A Figura 1 ilustra a molécula de hidrogênio, onde os dois átomos de hidrogênio estão conectados por uma mola de constante elástica k_1 . Analogamente, a Figura 2 representa a molécula de oxigênio, com seus átomos unidos por uma mola de constante elástica k_2 . A diferença entre os valores de k_1 e k_2 reflete a natureza das ligações químicas nas duas moléculas e influencia diretamente as características do movimento harmônico simples de cada sistema



Molécula de Hidrogênio H_2 (Figura 1)



Molécula de Oxigênio O_2 (Figura 2)

De acordo com os estudos sobre movimento vibracionais moleculares podemos concluir:

- a) Quanto **maior** for o valor da constante elástica e **menor** for a massa dos átomos acoplados na molécula maior será a frequência oscilatória (ou seja, o sistema vibrará mais rapidamente).
- b) Quanto **menor** for o valor da constante elástica e **maior** for a massa dos átomos acoplados na molécula maior será a frequência oscilatória (ou seja, o sistema vibrará mais rapidamente).
- c) O **valor** da constante elástica da mola **não** influencia no movimento oscilatório.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente manual, teve como foco mostrar a utilização dos programas Avogadro e Desmos como ferramentas didáticas para o ensino do movimento vibracional no segundo ano do ensino médio. Tais ferramentas podem contribuir significativamente para a compreensão desse fenômeno físico-químico, proporcionando uma abordagem mais interativa e visual para os alunos.

O uso do Avogadro permite a modelagem de moléculas e a visualização tridimensional dos modos vibracionais, facilitando a compreensão dos conceitos abstratos relacionados à dinâmica molecular. Por meio desse software, os estudantes podem explorar a estrutura das moléculas e observar diretamente como os átomos se movimentam em diferentes padrões vibracionais, relacionando essa dinâmica com a teoria estudada em sala de aula. Além disso, o Avogadro permite a extração de dados de dados quantitativos, como distância interatômica e energia que podem ser analisadas mais aprofundadas.

Por outro lado, o Desmos se mostrou uma ferramenta interessante para a modelagem matemática dos movimentos vibracionais, permitindo a construção e o ajuste de curvas que representam oscilações harmônicas. A possibilidade de manipular parâmetros e observar, em tempo real, as alterações na representação gráfica da energia potencial elástica em função da distância interatômica molecular fornece a compreensão dos alunos sobre as relações matemáticas envolvidas no fenômeno. Dessa forma, o uso do Desmos permitiu uma conexão mais concreta entre a Física, a Química e a Matemática, contribuindo para uma aprendizagem mais integrada e contextualizada.

Por fim, é importante destacar que o uso desses dois programas no ensino do movimento vibracional mostra-se uma estratégia a mais para ensinar os tipos de MHS, além dos clássicos conhecidos, mas requer planejamento e estudos para sua implementação adequada por parte dos professores. A capacitação destes no uso dessas ferramentas e o desenvolvimento de atividades bem estruturadas são fundamentais para maximizar os benefícios proporcionados por essas tecnologias. Dessa forma, este estudo reforça a importância da inserção de softwares educativos no ensino de ciências, evidenciando que a combinação de modelagem molecular e análise matemática pode enriquecer a compreensão dos fenômenos físico-químicos e contribuir para uma aprendizagem mais significativa e envolvente.

7 REFERÊNCIAS

ALONSO, Marcelo; FINN, Edward J. **Física: um curso universitário**. Volume 1. 2. ed. São Paulo: Addison-Wesley, 1980.

AVOGADRO. Avogadro-Free cross-platform molecular editor. Disponível em: <<http://avogadro.cc>>.

BATISTA, Gerliane da Costa; MARINHO, Emanuelle Machado; MARINHO, Marcia Machado; MARINHO, Emmanuel Silva. **Avogadro no ensino de química: um avançado editor molecular de visualização de um grande potencial pedagógico**. 23º Seminário Internacional de Educação, Tecnologia e Sociedade, 2018.

HANWELL, Marcus D.; CURTIS, David E.; LUTZ, Michael; KENTSHIRE, Trey; HUTCHISON, Geoffrey R. **Avogadro: An advanced semantic chemical editor, visualization, and analysis platform**. *Journal of Cheminformatics*, 2012, 4.1: 1-17.

NETA, Miguel. **Física e Química: tabelas**. Lisboa: Sociedade Portuguesa de Química, maio 2025. Disponível em: <<https://www.fq.pt/images/tabelas/FQ-tabelas.pdf>>.

PACHECO, J. E; AUSUBEL, David P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Tradução de José Eduardo Pacheco. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2003.

STUDIO, DESMOS. **Desmos Graphing Calculator**. Disponível em: <<https://www.desmos.com>>

TAYLOR, John R. **Mecânica Clássica**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

THORNTON, Stephen T.; MARION, Jerry B. **Dinâmica clássica de partículas e sistemas**. Tradução de Regina Célia Lima Xavier. 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

SILVA, D. B.
Professor de Física e
autor desse e- book

**MODELAGEM DE LIGAÇÕES
QUÍMICAS ATRAVÉS DO
OSCILADOR HARMÔNICO
SIMPLES PARA ALUNOS DO 2^o
ANO DO ENSINO MÉDIO**

**RECURSOS
EDUCACIONAIS**

Produto Educacional
Mestrado em Ensino de Física

APÊNDICE F

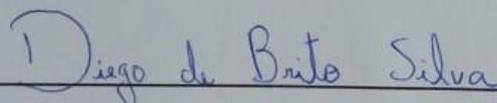
CARTA DE APRESENTAÇÃO DO PESQUISADOR

São Luís, 11 de setembro de 2024.

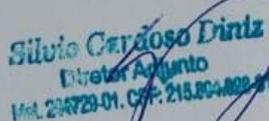
À direção do Centro de Ensino [REDACTED]

Eu, Diego de Brito Silva, selecionado no Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) vinculado a UFMA, sob orientação do professor Doutor Eduardo Moraes Diniz. Venho através desta carta apresentar o projeto a ser executado na presente escola. O projeto intitula-se: **Modelagem de Ligações Químicas através do Oscilador Harmônico Simples para alunos do 2º Ano do Ensino Médio**. Tal projeto tem como objetivo: "Utilizar os programas Avogadro e Desmos para modelar as moléculas (H_2 , O_2 e N_2), ajustar curvas de oscilações da energia em função das distâncias das ligações química e determinar a constante elástica de ligação k , visando a confecção de um manual didático (produto educacional) que servirá como recurso pedagógico para ser utilizado no segundo ano do ensino médio nas aulas de OHS."

Desde já,



Diego de Brito Silva


Silvio Cardoso Diniz
Diretor Adjunto
Mat. 204729-01. CPF: 216.804.402-01

Carimbo ou assinatura do Diretor