



Entropia e desordem: Uma proposta de seqüência didática para o ensino de química no ensino médio

Tiago de Souza e Silva ¹
Luciano de Azevedo Soares Neto ²

¹*Mestrando do Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional, da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, e-mail: tiagodessilva@hotmail.com*

²*Professor orientador: Doutor em Físico-Química pela Universidade de São Paulo - USP, Professor associado, Área de Físico-Química da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, e-mail: lucianoazevedo.ufrpe@gmail.com*

RESUMO

Este trabalho aborda um tema estruturante para o Ensino de Química: o conceito de entropia e a sua relação com a desordem. O objetivo dessa pesquisa foi propor uma seqüência didática utilizando a abordagem do ensino por investigação com experimentos químicos para melhorar a compreensão do conceito da entropia para os alunos do ensino médio. Para tal objetivo, foi aplicada uma seqüência didática em uma turma do segundo ano do ensino médio. A proposta desse trabalho foi de incluir uma discussão qualitativa da formulação de Ludwig Boltzmann para o conceito da entropia, pois a mesma visa uma interpretação microscópica dessa propriedade Termodinâmica. A seqüência didática foi aplicada em três momentos pedagógicos, correspondentes a três aulas de 50 minutos cada, em uma escola federal localizada na cidade do Recife e vinculada a UFPE. Os resultados obtidos com a aplicação da seqüência didática foram suficientes para construção de uma matriz de associação, através da análise dos mapas conceituais construídos pelos alunos e posterior análise bidimensional dos mesmos. Tal análise mostrou a relação direta que os alunos fizeram do conceito da entropia com o conceito de desordem, como também, foi possível verificar, através da análise dos questionamentos de investigação, que após a aplicação dos experimentos de forma dialogada com os alunos, os mesmos obtiveram porcentagens de acerto superiores a 70%.

Palavras-chave: Entropia, Seqüência didática, Ensino por investigação.

INTRODUÇÃO

A nossa pesquisa surgiu através da observação em sala de aula das dificuldades encontradas pelos alunos na compreensão do conceito da entropia no ensino da termodinâmica química no ensino médio. Essas dificuldades variavam desde a não compreensão de um fenômeno reversível ou irreversível, passando por não saber explicar corretamente porque determinados processos eram espontâneos ou não espontâneos, até mesmo a uma associação do conceito da entropia com a “desordem” de forma inadequada e completamente descontextualizada.

Percebemos através de uma pesquisa bibliográfica, que o conceito da entropia encontrado na 2ª lei da termodinâmica como proposto por Rudolf Clausius em 1867,



tonou-se um conceito estruturante para o ensino da química, pois o mesmo define que a entropia está diretamente relacionada com a espontaneidade e reversibilidade dos processos (PÁDUA, 2009, pg. 102).

Ainda sobre a nossa pesquisa bibliográfica, percebemos que em 1877, a entropia foi relacionada com o número de estados possíveis para um determinado sistema, através da formulação estatística de Ludwig Boltzmann. Nesse contexto a entropia passou a ser descrita como uma medida da “desordem” de um sistema (BORGES, 1999, pg. 454) e relacionada diretamente com a distribuição dos estados possíveis.

A partir deste resgate bibliográfico foi possível encontrar a origem do nosso problema de pesquisa: a ausência de uma abordagem metodológica aplicada em sala de aula que possibilitasse uma melhor compreensão do conceito da entropia, buscando um resgate epistemológico do mesmo e fazendo uso da formulação de Boltzmann. Tudo isso em uma associação adequada e contextualizada da entropia com a desordem.

Quando Boltzmann relacionou o número de estados possíveis de energia para um sistema com a “desordem” do mesmo ele mostrou que em um processo espontâneo o sistema é conduzido de uma configuração mais concentrada de níveis de energia (sistema ordenado) para uma configuração mais dispersa de níveis de energia (sistema desordenado). Dessa forma entra também na discussão a dispersão da energia.

No entanto, a argumentação da dispersão de energia não foi encontrada em nenhum material didático de química do ensino médio, nenhuma argumentação teórica ou experimental. Tendo em vista a ausência de resgate epistemológico e argumentação teórica, resolvemos elaborar e aplicar uma sequência didática voltada para os estudantes de química do ensino médio.

A aplicação da sequência didática foi realizada nos dias 14 e 18 de outubro de 2019 pelo próprio pesquisador em uma turma com 30 alunos do segundo ano do Ensino Médio do Colégio de Aplicação da UFPE. Buscamos sua validação, na intenção de que os professores de química do ensino médio, possam dispor de uma estratégia didático-pedagógica para abordar um tema não tão trivial como a entropia.

A sequência didática foi prevista para ser aplicada em três momentos pedagógicos, correspondentes a três aulas de 50 minutos de duração cada, sendo cada momento identificado a seguir: problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento.

No primeiro momento pedagógico os alunos foram desafiados a expor o que pensavam sobre as situações para que o professor possa conhecer o que os discentes pensam sobre a entropia, quais são as suas concepções prévias. No segundo momento, sob a orientação do professor, os conhecimentos sobre entropia e a segunda lei da termodinâmica, necessários para a compreensão do tema e da problematização inicial, são estudados de forma dialogada com os alunos e os experimentos são realizados como uma forma de criar um contexto para introduzir os termos, os conceitos e implicações sobre entropia.

Por fim, o último momento pedagógico foi destinado à abordagem sistemática do conhecimento compreendido pelos alunos, seguindo a sistemática da abordagem do ensino por investigativo.



REFERENCIAL TEÓRICO

Na primeira metade do século XIX, as máquinas térmicas que inicialmente teriam a função de transformar o calor em trabalho (ou força motriz), esbarravam em um problema muito sério de rendimento na transformação do calor em energia mecânica (movimento). O problema seria realizar essa conversão de forma mais eficiente, pois do ponto de vista da conservação de energia, não haveria nem um tipo de restrição para transformar integralmente o calor em trabalho.

As máquinas térmicas se “recusavam” a funcionar de forma idealizada, e além do mais, será que uma máquina térmica operando no sentido contrário, seria um refrigerador ideal? E porque existiria uma preferência espontânea para um fluxo ir de um corpo quente para o corpo frio, e não o sentido contrário? Esses e outros questionamentos eram colocados em discussão, porém sem ter uma resposta clara para tais perguntas, mesmo porque, até então não se conhecia a natureza do calor.

Carnot fez uma observação importante na época que foi comparar a queda da água de um moinho com uma máquina térmica, dizendo que o volume de queda de água e a diferença de altura, assim como o calórico e a diferença de temperatura entre uma fonte quente e uma fonte fria são relevantes.

Carnot em suas reflexões sobre o funcionamento das máquinas térmicas, e comparando-as com o funcionamento de um moinho, chegou à seguinte conclusão: “*A potência motriz do calor é independente dos agentes que trabalham para realizá-lo; sua quantidade é fixada unicamente pelas temperaturas dos corpos entre os quais se faz o transporte do calórico*” (PÁDUA, 2009, pg. 101).

Segundo Carnot, era através da transferência de calor de um corpo quente para um corpo frio, passando por uma máquina térmica, que o efeito mecânico (trabalho) poderia ser obtido de forma máxima. Ainda segundo Carnot, o trabalho útil realizado pela máquina era a diferença entre o trabalho que o gás realiza na expansão e o trabalho que deve ser realizado sobre o gás (compressão). Qualquer outro ciclo irreversível deveria ter um rendimento menor do que o ciclo proposto por Carnot com sua “máquina ideal”.

Carnot continuou com o conceito de calórico (calor) como sendo um fluido material, assim como já era defendido por Lavoisier no século XVIII. Sua teoria previa apenas o fluxo do calórico da fonte quente para a fonte fria e não explicava a criação e nem a distribuição do calórico, contudo trouxe inúmeras contribuições para a termodinâmica clássica mesmo tendo uma concepção equivocada sobre a natureza do calor.

Devemos também a Carnot a influência direta sobre o trabalho de Lord Kelvin que definiu a escala absoluta de temperatura em 1848. Foi nesse trabalho que Kelvin levando em consideração a teoria do calórico e a da máquina ideal elaborada por Carnot, propôs o conceito de temperatura absoluta.

Por volta de 1850, Rudolf Clausius retoma à discussão sobre a teoria do calórico e o problema do rendimento das máquinas térmicas. Em seu primeiro trabalho publicado em 1850 “*On the moving force of heat and the laws of heat which may be deduced there from*”, Clausius concluiu que o calor seria uma forma de energia e estabeleceu a sua relação com o trabalho, daí então a primeira lei da termodinâmica passou a expressar um princípio de conservação para essas duas formas de energia (PÁDUA, 2009).

Apesar da primeira lei da termodinâmica conseguir explicar as transformações de energia em termos de calor e trabalho, a mesma não era suficiente para explicar a espontaneidade dos processos.



Foi então que Clausius deu um passo importante nesse sentido quando afirmou: “É impossível que uma máquina térmica que trabalhe ciclicamente transfira a energia como calor de um corpo frio para outro quente, sem que um agente externo realize trabalho”.

A partir dessa afirmativa de Clausius ficou evidente a ideia de que um processo não espontâneo seria aquele que necessita de um trabalho externo para ocorrer. Já no tocante à reversibilidade Clausius em 1854 publicou o trabalho *On a modified form of the second fundamental the order in the mechanical theory of heat*, onde ele determinou que para que um processo fosse reversível o valor de equivalência (número ao qual era obtido quando se somava o quociente do calor reversível dividido pela temperatura absoluta da fonte de calor) deveria ser maior que zero nas transformações em que o calor fluía do corpo quente para o corpo frio (PÁDUA, 2009).

O termo “valor de equivalência” foi substituído pela palavra de origem grega **εντροπία** que significa transformação, ficando conhecida por nos até os dias de hoje com o nome de entropia.

No ano de 1867 em seu trabalho intitulado “on different forms of the fundamental equations of the mechanical theory of heat and their convenience for application”, Clausius afirmou que “a variação de entropia do universo aumenta numa mudança espontânea”, essa afirmação ficou conhecida como a segunda lei da termodinâmica, trazendo assim a sua grande contribuição para a elaboração do conceito de entropia (PÁDUA, 2009).

Coube ao físico austríaco Ludwig Boltzmann dar uma interpretação mecânico-molecular para a segunda lei da termodinâmica, utilizando elementos estatísticos para representar a dinâmica das partículas. Boltzmann incorporou assim um caráter probabilístico à segunda lei da termodinâmica (PEREIRA, 1997), introduzindo uma nova abordagem, que passou a ser conhecida como termodinâmica estatística.

A abordagem da termodinâmica clássica (Clausius-Carnot) sobre o conceito de entropia já tinha indicado que a mesma seria uma medida da dispersão da energia, ou seja, a energia em um sistema tenderia de uma forma mais concentrada para uma forma mais dispersa nos processos irreversíveis, porém ainda não tinha explicado o porquê dessa dispersão (KOTZ, 2016).

A estratégia de Boltzmann para explicar o porquê da dispersão da energia foi adotar a ideia de que seriam permitidos vários estados possíveis de energia para as partículas de um sistema de forma que a energia total do sistema permaneça constante. Assim, Boltzmann estabeleceu uma distribuição de probabilidade para esses vários estados, indicando que algumas distribuições seriam mais prováveis à medida que elas tivessem mais “maneiras de ocorrer”, cada estado possível seria chamado de “microestado” de energia.

Sendo assim, o sistema evoluiria dos estados menos prováveis aos estados mais prováveis, permitindo então a relação da entropia com a probabilidade dos estados possíveis. Dessa forma, segundo Boltzmann, os sistemas seguiriam um caminho natural, determinado pelas probabilidades dos estados até que o equilíbrio fosse atingido (KOTZ, 2016).

A interpretação probabilística de Boltzmann e o princípio dela decorrente, conhecido como o princípio da ordem de Boltzmann, permite prever a formação de estruturas físicas ordenadas e descrever a coexistência de fases num sistema em equilíbrio.



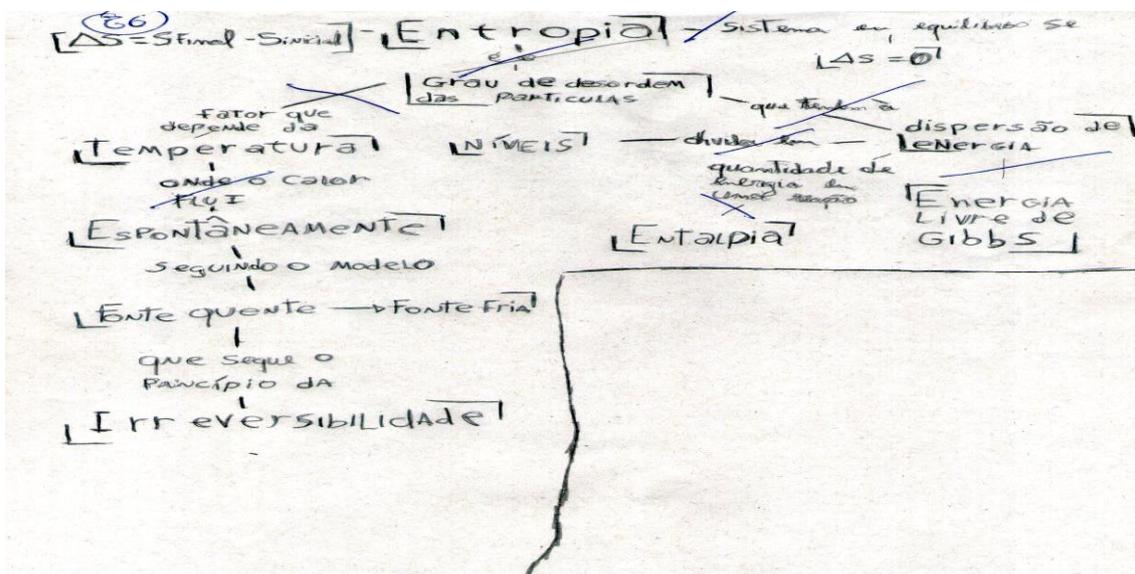
METODOLOGIA

No primeiro momento pedagógico, correspondente à primeira aula de 50 minutos da seqüência didática, foi apresentado aos alunos o tema da aula: “Entropia e desordem: o que é que uma coisa tem a ver com a outra?”, na qual foi iniciada uma breve discussão sobre como a termodinâmica se estabeleceu enquanto uma área do conhecimento da físico-química e como surgiu o conceito da entropia diante do contexto histórico do século XIX.

Para tal finalidade, foi exibido aos alunos um trecho do documentário “Ordem e desordem”, produzido pela rede de Rádio e TV BBC (British Broadcasting Corporation), em que foi mostrado um pouco da construção histórica e epistemológica do conceito de entropia, desde Sadi Carnot, passando por Rudolf Clausius até chegar a Ludwig Boltzmann.

A exibição do documentário foi alternada com os slides e a discussão com os alunos sobre os fatos mais importantes desse primeiro momento. Logo em seguida foi pedido para que os alunos se reunissem em grupos de cinco integrantes, totalizando seis grupos, para que construíssem um mapa conceitual contendo os seguintes conceitos: Temperatura; Desordem; Níveis de Energia; Dispersão de energia; Entropia; Entalpia; Energia Livre de Gibbs; Espontaneidade; Equilíbrio Químico; Irreversibilidade; como mostrado na figura 1 abaixo:

Figura 1. Mapa conceitual construído por um dos grupos.



Fonte: Autor (2019)

Em seguida os seis mapas conceituais construídos pelos alunos de cada grupo, foram transformados pelo pesquisador em uma tabela de matriz associada de cada mapa conceitual construído por cada grupo. Os dez conceitos associados foram enumerados (de 1 a 10) na coluna à esquerda e na primeira linha em cima da tabela, e preenchidos com o número 1 cada vez que no mapa conceitual associado for encontrada a relação de um conceito com o outro. Tivemos o cuidado de excluir a relação de um conceito com ele mesmo (pintado em preto), como mostrado na Tabela 1:

Tabela 1: Matriz associada ao mapa conceitual construído pelo grupo mostrado acima.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TEMPERATURA	1	■							1		
DESORDEM	2	1	■		1						
NÍVEIS DE ENERGIA	3			■							
DISPERSÃO DE ENERGIA	4			1	■		1	1			
ENTROPIA	5		1			■				1	
ENTALPIA	6						■				
ENERGIA LIVRE DE GIBBS	7							■			
ESPONTANEIDADE	8								■		
EQUILÍBRIO QUÍMICO	9									■	
IRREVERSIBILIDADE	10										■

Fonte: Autor (2019)

As matrizes associadas de cada mapa conceitual construído pelos alunos são em seguida somadas, dando origem a uma matriz de associação final, que dará origem a dois parâmetros importantes: o total de relações (R) e a frequência de relações (F), como mostrado no exemplo da tabela 2 abaixo:

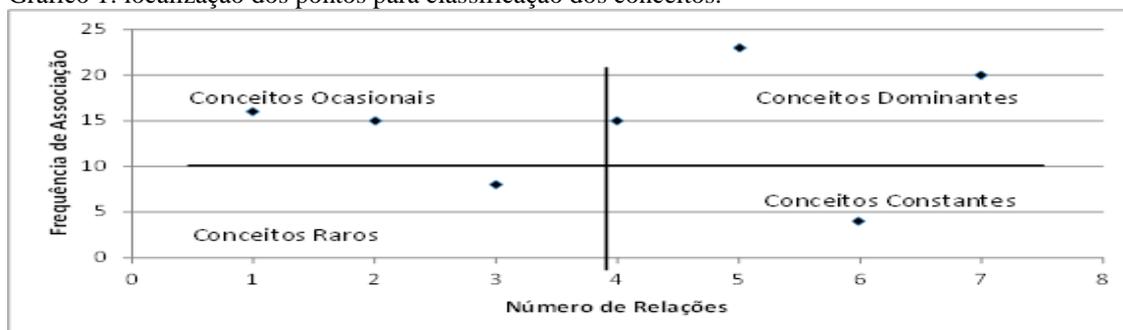
Tabela 2: Matriz associada Final

		TEMPERATURA	DESORDEM	NÍVEIS DE ENERGIA	DISPERSÃO DE ENERGIA	ENTROPIA	ENTALPIA	ENERGIA LIVRE DE GIBBS	ESPONTANEIDADE	EQUILÍBRIO QUÍMICO	IRREVERSIBILIDADE	TOTAL DE RELAÇÕES	FREQUENCIA DE RELAÇÕES	% FREQUENCIA DE RELAÇÕES
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
TEMPERATURA	1	■												
DESORDEM	2		■											
NÍVEIS DE ENERGIA	3			■										
DISPERSÃO DE ENERGIA	4				■									
ENTROPIA	5					■								
ENTALPIA	6						■							
ENERGIA LIVRE DE GIBBS	7							■						
ESPONTANEIDADE	8								■					
EQUILÍBRIO QUÍMICO	9									■				
IRREVERSIBILIDADE	10										■			

Fonte: Autor (2019)

Os dois parâmetros gerados pela matriz associada final nos ajudarão a construir um gráfico para análise bidimensional do mesmo, sendo possível a classificação dos conceitos de acordo com a posição dos seus pontos, como mostrado no exemplo do gráfico 1 abaixo:

Gráfico 1: localização dos pontos para classificação dos conceitos.



Fonte: Autor (2019)

Os pontos com maior frequência de associação e maior número de relações são associados aos conceitos dominantes. Os pontos com menor frequência de associação e maior número de relações são associados aos conceitos ocasionais. Já os pontos com maior frequência de associação e menor número de relações, estão associados aos conceitos permanentes e os pontos com menor frequência de associação e menor número de relações serão associados aos conceitos raros, como mostrado no Gráfico 1 acima.

No segundo momento pedagógico, correspondente à segunda aula de 50 minutos da sequência didática, foram apresentados os experimentos que traziam um contexto para que se discutissem certos conceitos que estavam relacionados ao conceito da entropia, como indicado no quadro 1 abaixo:

Quadro 1: Experimentos, temas e conceitos associados.

Experimentos	Tema	Conceitos Associados
1	Temperatura e desordem: entendam a relação entre essas duas grandezas.	Temperatura Desordem Níveis de Energia Dispersão de Energia
2	Espontâneo ou não espontâneo? Uma discussão sobre a espontaneidade de certos fenômenos.	Entropia Entalpia Energia Livre de Gibbs. Espontaneidade
3	Reações oscilantes, um olhar mais atento sobre as reações distantes do equilíbrio e a desordem de um sistema.	Equilíbrio Químico Irreversibilidade

Fonte: Autor (2019)

No terceiro momento pedagógico foram feitas as avaliações baseadas nos questionamentos de investigação, neles estavam os seguintes questionamentos gerais e específicos:

QG1) Será que a temperatura tem alguma relação com a desordem do sistema?

QE1A) Como será que a velocidades das moléculas influencia na mistura reacional?



QE1B) Neste experimento, quem foi o responsável pela não miscibilidade dos líquidos, a temperatura ou a entropia?

QG2) Qual deve ser a relação da energia térmica que entra no sistema e a desordem deste?

QE2A) Qual é o fator mais importante para determinamos a espontaneidade de uma reação química, a transferência de calor ou a desordem do sistema?

QE2B) Qual das propriedades do sistema, nós utilizaríamos de fato, para determinar a espontaneidade de um processo, $\Delta G^\circ_{\text{reação}}$ ou $\Delta S^\circ_{\text{reação}}$? Isso depende ou não das condições do sistema?

QG3) Uma reação oscilante viola ou não a segunda lei da termodinâmica?

QE3A) Todas as reações químicas, inevitavelmente, irão tender a um estado de equilíbrio químico?

QE3B) Quais são as condições necessárias para que uma reação seja irreversível?

Obs: Nos questionamentos de investigação as iniciais QG correspondem aos questionamentos gerais, QE os questionamentos específicos, e a numeração são correspondentes aos experimentos 1, 2 e 3. As letras A e B são para distinguir o primeiro questionamento específico do segundo questionamento específico.

O instrumento de coleta de dados utilizado no terceiro momento pedagógico concerne em analisar as porcentagens de acertos nos questionamentos de investigação. Para cada experimento realizado foram feitos os questionamentos gerais e específicos, sendo atribuídas algumas porcentagens de acerto para determinados elementos encontrados na argumentação teórica apresentada pelos alunos, como mostrado nos quadros abaixo:

Quadro 2: Questionamentos, elementos encontrados na argumentação e porcentagens

Experimento 1: Temperatura e desordem; Entendam a relação entre essas duas grandezas		
Questionamentos	Elementos encontrados na argumentação	Porcentagens
QG1	Correta relação de proporcionalidade entre temperatura e desordem.	40%
QE1A	Explicação adequada da relação entre a velocidade das moléculas e a mistura reacional.	30%
QE1B	Indicação correta de qual propriedade foi responsável pela não mistura dos líquidos.	30%

Fonte: Autor (2019)

Quadro 3: Questionamentos, elementos encontrados na argumentação e porcentagens.

Experimento 2: Espontâneo ou não espontâneo? Uma discussão sobre a espontaneidade de certos fenômenos		
Questionamentos	Elementos encontrados na argumentação	Porcentagens
QG2	Correta relação entre energia térmica que entra no sistema e a desordem.	40%
QE2A	Indicação correta do fator mais importante para determinar a espontaneidade de uma reação química.	30%
QE2B	Determinação correta da propriedade do sistema utilizada para indicar a espontaneidade de um processo e se depende ou não das condições do sistema.	30%

Fonte: Autor (2020)

Quadro 4: Questionamentos, elementos encontrados na argumentação e porcentagens.

Experimento 3: Reações oscilantes, um olhar mais atento sobre as reações distantes do equilíbrio e a desordem de um sistema.		
Questionamentos	Elementos encontrados na argumentação	Porcentagens
QG3	Indicação correta se uma reação oscilante viola ou não a segunda lei da termodinâmica.	40%
QE3A	Explicação correta se uma reação irá tender a um estado de equilíbrio ou não.	30%
QE3B	Determinação correta sobre as condições necessárias para que uma reação seja irreversível.	30%

Fonte: Autor (2019)

Após analisarmos os elementos presentes na argumentação teórica dos alunos, foram calculadas somando as porcentagens de acertos dos questionamentos de investigação gerais e específicos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As matrizes associadas dos seis grupos foram todas somadas, dando origem a uma matriz associada final, como mostrado na Tabela 3 abaixo:

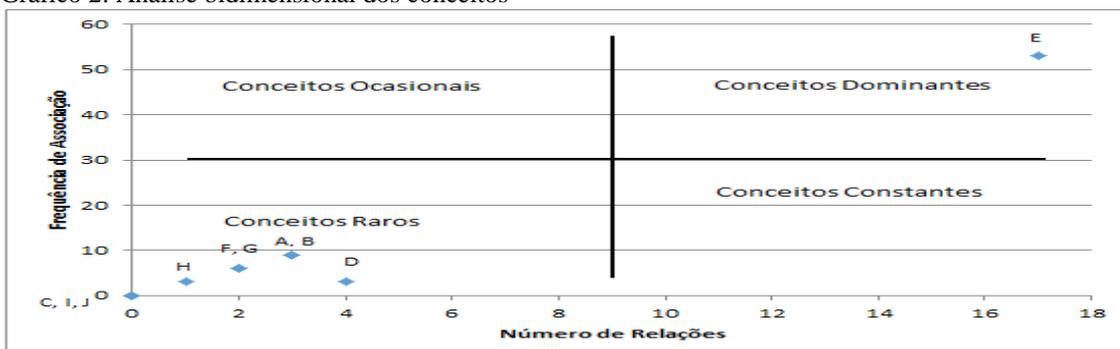
Tabela 3: Matriz associada final

	TEMPERATURA	DESORDEM	NÍVEIS DE ENERGIA	DISPERSÃO DE ENERGIA	ENTROPIA	ENTALPIA	ENERGIA LIVRE DE GIBBS	ESPONTANEIDADE	EQUILÍBRIO QUÍMICO	IRREVERSIBILIDADE	TOTAL DE RELAÇÕES	FREQUENCIA DE RELAÇÕES	% FREQUENCIA DE RELAÇÕES
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
TEMPERATURA	1		1			1		1			3	0,09	9
DESORDEM	2	2		1							3	0,09	9
NÍVEIS DE ENERGIA	3										0	0,0	0
DISPERSÃO DE ENERGIA	4		1			1	1			1	4	0,03	3
ENTROPIA	5	4	4					3	3	3	17	0,53	53
ENTALPIA	6						2				2	0,06	6
ENERGIA LIVRE DE GIBBS	7			1				1			2	0,1	10
ESPONTANEIDADE	8									1	1	0	0
EQUILÍBRIO QUÍMICO	9										0	0	0
IRREVERSIBILIDADE	10										0	0	0

Fonte: Autor (2019)

Através da matriz associada, podemos construir um gráfico do total de relações com a frequência de relações, como indicado no Gráfico 2 abaixo:

Gráfico 2: Análise bidimensional dos conceitos



Fonte: Autor (2019)

Após analisarmos as porcentagens de acertos nos questionamentos de investigação, para cada um dos três experimentos, e os resultados dos percentuais de acertos dos questionamentos dos seis grupos está sendo mostrado nos quadros a seguir:

Quadro 5: Percentual de acerto do grupo G1

Questionamentos	Percentual considerado	Percentual alcançado
QG1	40%	30%
QE1A	30%	30%
QE1B	30%	20%
Total	100%	80%
Questionamentos	Percentual considerado	Percentual alcançado
QG2	40%	40%
QE2A	30%	30%
QE2B	30%	20%
Total	100%	90%
Questionamentos	Percentual considerado	Percentual alcançado
QG3	40%	20%
QE3A	30%	30%
QE3B	30%	20%
Total	100%	70%

Fonte: Autor (2019)

Quadro 6: Percentual de acerto do grupo G2

Questionamentos	Percentual considerado	Percentual alcançado
QG1	40%	40%
QE1A	30%	30%
QE1B	30%	20%
Total	100%	90%
Questionamentos	Percentual considerado	Percentual alcançado
QG2	40%	20%
QE2A	30%	30%
QE2B	30%	20%
Total	100%	70%
Questionamentos	Percentual considerado	Percentual alcançado
QG3	40%	40%
QE3A	30%	30%
QE3B	30%	30%
Total	100%	100%

Fonte: Autor (2019)

Quadro 7: Percentual de acerto do grupo G3

Questionamentos	Percentual considerado	Percentual alcançado
QG1	40%	40%
QE1A	30%	30%
QE1B	30%	30%
Total	100%	100%
Questionamentos	Percentual considerado	Percentual alcançado
QG2	40%	30%
QE2A	30%	30%
QE2B	30%	30%
Total	100%	90%
Questionamentos	Percentual considerado	Percentual alcançado
QG3	40%	30%
QE3A	30%	40%
QE3B	30%	20%
Total	100%	90%

Fonte: Autor (2019)

Quadro 8: Percentual de acerto do grupo G4

Questionamentos	Percentual considerado	Percentual alcançado
QG1	40%	30%
QE1A	30%	30%
QE1B	30%	30%
Total	100%	90%
Questionamentos	Percentual considerado	Percentual alcançado
QG2	40%	40%
QE2A	30%	30%
QE2B	30%	30%
Total	100%	100%
Questionamentos	Percentual considerado	Percentual alcançado
QG3	40%	40%
QE3A	30%	30%
QE3B	30%	30%
Total	100%	100%

Fonte: Autor (2019)

Quadro 9: Percentual de acerto do grupo G5

Questionamentos	Percentual considerado	Percentual alcançado
QG1	40%	40%
QE1A	30%	30%
QE1B	30%	30%
Total	100%	100%
Questionamentos	Percentual considerado	Percentual alcançado
QG2	40%	40%
QE2A	30%	30%
QE2B	30%	30%
Total	100%	100%
Questionamentos	Percentual considerado	Percentual alcançado
QG3	40%	40%
QE3A	30%	30%
QE3B	30%	30%
Total	100%	100%

Fonte: Autor (2019)

Quadro 10: Percentual de acerto do grupo G6

Questionamentos	Percentual considerado	Percentual alcançado
QG1	40%	30%
QE1A	30%	40%
QE1B	30%	20%
Total	100%	90%
Questionamentos	Percentual considerado	Percentual alcançado
QG2	40%	40%
QE2A	30%	30%
QE2B	30%	30%
Total	100%	100%
Questionamentos	Percentual considerado	Percentual alcançado
QG3	40%	40%
QE3A	30%	30%
QE3B	30%	30%
Total	100%	100%

Fonte: Autor (2019)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando os mapas conceituais percebemos que o conceito da entropia aparece com um número de associação de 17 relações, o que torna esse conceito dentre os demais da termodinâmica utilizados para construção do mapa conceitual, e para aquele universo de alunos, o conceito que está mais relacionado aos outros demais citados. Já quando observamos o parâmetro frequência de associação, percebemos que o conceito de entropia aparece com 53% de frequência, o maior entre todos.

Observamos também que o conceito da entropia estava mais relacionado aos conceitos de temperatura e desordem, do que ao conceito de dispersão de energia, o que até então era esperado por nós, pois os materiais didáticos de nossa pesquisa bibliográfica apontavam para esses resultados e nós acreditamos que as abordagens dos professores do ensino médio não contemplam o argumento conceitual da dispersão de energia associado ao conceito da entropia como previsto na formulação de Boltzmann.

Na análise dos questionamentos de investigação realizada após os experimentos do segundo momento pedagógico, que tinham a intenção de criar um contexto de discussão para se debater os conceitos relacionados com a entropia, obtivemos resultados excelentes, pois percebemos que em todos os questionamentos as porcentagens de acertos foram superiores a 70%.

REFERÊNCIAS

- AURANI, Katya. **As origens da segunda lei da termodinâmica: entropia e probabilidade de estado**. São Bernardo do Campo, SP: Editora UFABC, 2015.
- BORGES, Ernesto. P. Irreversibilidade, Desordem e Incerteza: Três Visões da Generalização do Conceito de Entropia, **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 21, n. 4, p 454, dez. 1999.
- PÁDUA, Antonio; PÁDUA, Cléa; SILVA, João. **A história da termodinâmica clássica: uma ciência fundamental**. Londrina, PR: Editora Estadual de Londrina, 2009.
- PEREIRA Jr, Alfredo. **Irreversibilidade física e ordem temporal na tradição Boltzmanniana**. São Paulo, SP: Editora Unesp, 1997.
- KOTZ, John C. **Química geral e reações químicas**. São Paulo, SP: CENGAGE, 2016. v. 2