



Educação Ambiental em Diálogo com
Ensino de Química na Terra do Basalto
44º EDEQ - 4º Profquisul
NOVA PRATA/RS

Desvendando a Estequiometria: uma abordagem conceitual para rendimento e pureza em reações químicas

Rochele da Silva Fernandes* (PG), José Ribeiro Gregório (PQ)

rochesfernandes@gmail.com

Palavras-Chave: cálculo estequiométrico; rendimento de reações; pureza de reagentes e produtos.

Área Temática: Alfabetização Científica

Resumo: O ensino da Estequiometria enfrenta desafios persistentes, especialmente em tópicos como rendimento de reações, pureza de reagentes e produtos, frequentemente abordados de forma superficial em materiais didáticos. Este trabalho propõe uma revisão conceitual desses temas, identificando lacunas na literatura e propondo um material complementar para auxiliar docentes, discentes e profissionais da Química. A análise bibliográfica revelou que muitos recursos priorizam exemplos resolvidos em detrimento de explicações teóricas claras, o que pode levar a equívocos na aplicação prática. O estudo argumenta que, embora exercícios e analogias sejam úteis, são insuficientes para uma compreensão profunda, especialmente em situações que exigem adaptação conceitual. Como contribuição, o material desenvolvido busca suprir essa deficiência, oferecendo definições e abordagens didáticas que facilitem a aprendizagem. Espera-se que esta proposta minimize erros comuns em salas de aula e promova um entendimento mais sólido da Estequiometria em diferentes níveis de ensino.

INTRODUÇÃO

O ensino e a aprendizagem da Química enfrentam obstáculos persistentes ao longo do tempo. Em salas de aula de diferentes níveis de ensino, alguns temas se mostram especialmente desafiadores para discentes e docentes. Dentre eles, a Estequiometria destaca-se por causar frequente desconforto entre aqueles que estudam a disciplina.

As relações estequiométricas, baseadas nas proporções entre átomos de diferentes elementos para compor uma substância ou ainda nas proporções entre as substâncias que participam de uma transformação química, seguem leis e teorias comprovadas matematicamente. Isso permite a elaboração de previsões quantitativas para processos em micro e macro escalas.

No entanto, casos especiais – como rendimento de reações, pureza de reagentes e produtos – merecem atenção particular. Geralmente, esses tópicos são abordados nos livros didáticos apenas por meio de exemplos resolvidos, sem uma definição clara dos conceitos envolvidos. Essa abordagem superficial pressupõe que o discente já compreende os termos envolvidos, o que nem sempre corresponde à realidade. Como resultado, há uma escassez de explicações teóricas para situações tão relevantes no estudo da Estequiometria.

APOIO

Sociedade Brasileira de
Ensino de Química





Educação Ambiental em Diálogo com
Ensino de Química na Terra do Basalto
44^º EDEQ - 4^º Profquisul
NOVA PRATA/RS

Na prática, porém, observa-se que tanto discentes quanto docentes enfrentam dificuldades para interpretar os resultados desses cálculos. Muitos não compreendem o significado dos valores obtidos, limitando-se a executar as operações matemáticas. Em vez de priorizar o “compreender”, há um excesso de ênfase no “fazer” – ou melhor, no “calcular”, mesmo que o significado do número obtido permaneça obscuro.

Diante desse cenário, este trabalho propõe-se a definir e conceituar os termos fundamentais e subjacentes utilizados no cálculo estequiométrico relacionados ao rendimento de reações, pureza de reagentes e pureza de produtos. Durante a discussão desses conceitos, as grandezas físicas, químicas e suas respectivas unidades de medida são apresentadas conforme recomenda a 3^a edição do livro *Grandezas, Unidades e Símbolos em Físico-Química*, elaborado e publicado pela International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), com tradução conjunta da Sociedade Brasileira de Química (SBQ) e da Sociedade Portuguesa de Química (SPQ), conhecido como Livro Verde.

LIVROS DIDÁTICOS E OS CONCEITOS FUNDAMENTAIS EM ESTEQUIOMETRIA

A Estequiometria é tida como um dos tópicos mais desafiadores no estudo da Química, uma vez que agrega diferentes habilidades calcadas na linguagem e na Matemática, além das peculiaridades da Química. Essa mistura de habilidades também requer que os conceitos fundamentais envolvidos estejam plenamente definidos para permitir melhor apropriação desses conhecimentos. No entanto, como a matemática muitas vezes demanda mais tempo e dedicação para ser dominada, nota-se que os livros didáticos acabam enfocando essa habilidade e tratam superficialmente os conceitos envolvidos nos cálculos efetuados.

Especificamente na busca por conceitos e definições para rendimento de reações, pureza de reagente e pureza de produtos, houve dificuldades de encontrar referências bibliográficas sólidas para esses termos abordados em diversos problemas estequiométricos.

Para Feltre (2005) o “grau de pureza (p) é o quociente entre a massa da substância pura e a massa total da amostra”. Já a definição de “rendimento (r) é o quociente entre a quantidade de produto realmente obtida em uma reação e a quantidade que teoricamente seria obtida, de acordo com a equação química correspondente”. E segue com exemplos resolvidos e exercícios propostos para ambos os conceitos apresentados em caixas coloridas destacadas em meio a descrição dos exemplos.

Fonseca (2013) e Peruzzo e Canto (1998) não apresentam definições para os termos pureza e rendimento, apresentam apenas exemplos resolvidos e, logo após, exercícios propostos.

Santos e Mol (2013) não apresentam definição, exemplos e exercícios que abordem pureza. No entanto definem rendimento como:

APOIO

Sociedade Brasileira de
Ensino de Química





Educação Ambiental em Diálogo com
Ensino de Química na Terra do Basalto
44ª EDEQ - 4º Profquisul
NOVA PRATA/RS

O **Rendimento Teórico** (RT) de uma reação corresponde à quantidade de um produto que seria obtida a partir de uma quantidade de reagente se a reação fosse única e ocorresse completamente. [...] Para realizarmos os cálculos químicos, precisamos saber que quantidade de produto será realmente formada. A isso chamamos **Rendimento Real** (RR), expresso como uma porcentagem do **Rendimento Teórico** (RT), conhecido como rendimento percentual.

$$R\% = \frac{RR}{RT} \cdot 100\%$$

Atkins (2012) define rendimento de reação como:

O **rendimento teórico** de uma reação é a quantidade *máxima* (mols, massa ou volume) de produto que pode ser obtida a partir de uma determinada quantidade de reagente. As quantidades calculadas de produtos a partir de uma dada massa de reação, na Seção L, foram todas rendimentos teóricos. O **rendimento percentual** é a fração do rendimento teórico que é realmente obtida, expresso em porcentagem:

$$\text{Rendimento percentual} = \frac{\text{rendimento real}}{\text{rendimento teórico}} \times 100\%$$

Em Russel (1994), os termos aparecem nos problemas resolvidos e propostos, mas não são encontradas definições para tais.

Para pureza de reagentes e produtos, menos referências ainda são encontradas nas bibliografias, exemplos e problemas resolvidos estão presentes nos materiais, mas conceitos não são apresentados.

CONCEITOS FUNDAMENTAIS NA ESTEQUIOMETRIA

Para compreender efetivamente esses termos aplicados na Estequiometria, faz-se necessário que conceitos subjacentes sejam devidamente apresentados, dentre eles podemos citar produto principal, coproduto e subproduto.

De forma qualitativa, uma reação química pode ser representada pelo esquema apresentado na Figura 1.

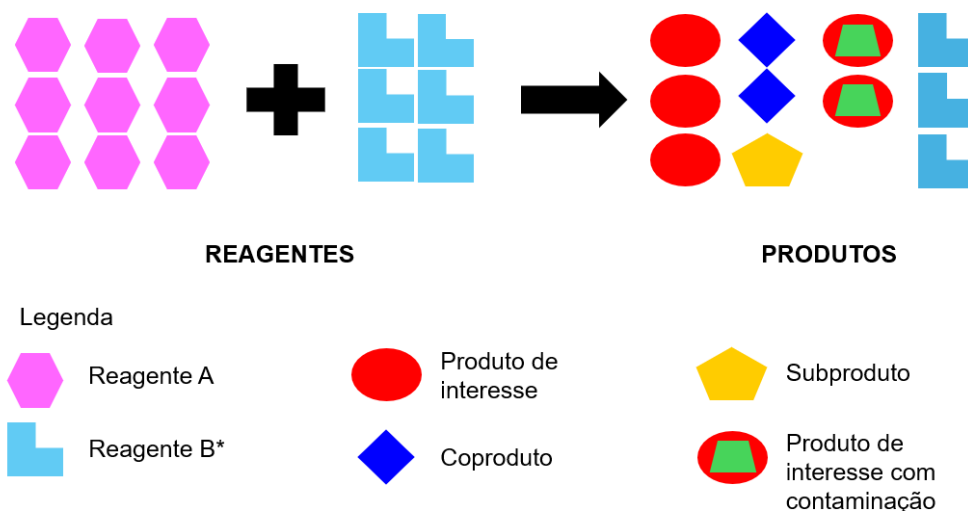
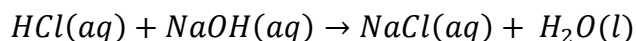


Figura 1: esquema de representação qualitativa de uma reação química

*O Reagente B também aparece no termo de Produtos pois trata-se de reagente em excesso (presente em quantidade além da necessária de acordo com a estequiometria da reação). Pode-se compreender que o Reagente B sofreu transformação, mas não foi totalmente consumindo, restando certa quantidade ao final do processo, quantidade que está representada junto aos Produtos, apesar de não ser formalmente um produto. Quando há reagente em excesso obrigatoriamente há reagente limitante (aquele que vai acabar primeiro, de acordo com a estequiometria da reação e as quantidades adicionadas). O reagente limitante condiciona a quantidade máxima de produtos que se pode obter, uma vez que ele vai acabar primeiro.

No esquema apresentado na Figura 1 há também a formação do coproduto, do subproduto e do produto de interesse com contaminação. É importante que os conceitos dessas espécies sejam bem compreendidos.

O coproduto é aquele inerente à reação, o qual não pode ser suprimido ou eliminado do processo. Toma-se como exemplo a reação de neutralização entre ácido clorídrico e hidróxido de sódio representada pela equação a seguir:



Formam-se dois produtos: NaCl e H₂O. Se NaCl for o produto de interesse, H₂O é o coproduto, inerente ao processo pois sua formação é inevitável, ou seja, não é possível reduzir ou até mesmo eliminar sua formação.

O subproduto é um produto secundário, não desejado, não intencional, formado em algumas reações químicas. Sua formação pode ser reduzida e até mesmo eliminada com emprego de controles dos parâmetros de reações e outras

técnicas aplicáveis. Quando uma reação química apresenta subproduto, é necessário que processos adicionais sejam efetuados para realizar a separação do subproduto do produto de interesse. Como exemplo, a fermentação do açúcar para produzir etanol (produto de interesse) pode produzir metanol (subproduto).

Já o produto de interesse com contaminação ocorre quando o subproduto, coproduto, reagente em excesso, reagentes não convertidos, impurezas dos reagentes, solventes, catalisadores etc. estão presentes de alguma forma vinculados fortemente ao produto de interesse, de tal forma que demande mais processos, ou processos mais complexos, para purificá-lo.

Um exemplo é a reação de hidroformilação do propeno, que pode ser representada pela Figura 2 a seguir:

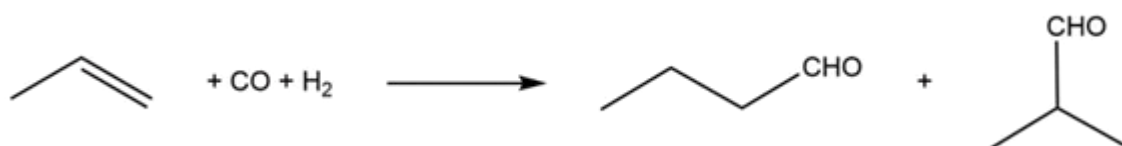
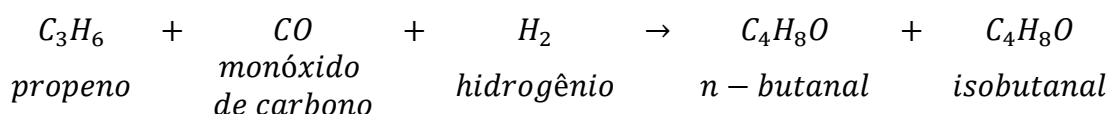


Figura 2: Representação da reação de hidroformilação do propeno.

Pode-se representar a reação pela equação química não balanceada a seguir:



Nesse processo, o produto principal é o *n*-butanal (C₄H₈O), que é um aldeído linear com muitas aplicações industriais, como na produção de plásticos ou solventes. A reação também apresenta um coproduto, o isobutanal (C₄H₈O) que é um aldeído ramificado, útil, mas menos desejado na indústria. A reação ainda pode apresentar como subproduto pequenas quantidades de alcanos, como o propano (C₃H₈), que pode ser formado por hidrogenação indesejada do propeno. O produto principal nesse processo apresenta-se contaminado, uma vez que o isobutanal apresenta propriedades químicas semelhantes e por isso demanda processos químicos de separação mais complexos para purificação do *n*-butanal.

A partir da identificação das espécies possíveis em uma reação química e o que representa cada uma delas em um processo estequiométrico, podemos analisar os conceitos propostos para rendimento e pureza.

RENDIMENTO DE REAÇÃO: RELAÇÃO ENTRE CONVERSÃO E SELETIVIDADE

Antes de falar em rendimento de uma reação, se faz necessário compreender o que significa a conversão e a seletividade de uma reação química. São estes



Educação Ambiental em Diálogo com
Ensino de Química na Terra do Basalto
44º EDEQ - 4º Profquisul
NOVA PRATA/RS

conceitos, geralmente omitidos dos livros técnicos, que serão tratados previamente e que estão interligados ao conceito de rendimento.

CONVERSÃO

Em um processo químico a conversão de reagentes em produtos pode ser parcial ou total. A conversão de uma reação significa o quanto de reagente de fato se transformou em produto, pode ser dada pela razão entre a quantidade de substância (n), em mol, de reagente limitante consumida durante a reação e a quantidade de substância (n), em mol, de reagente limitante alimentada no início do processo. A conversão é expressa em porcentagem (%).

A conversão pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$\text{Conversão} = \frac{n(\text{reagente limitante consumido})}{n(\text{reagente limitante alimentado})} \cdot 100\%$$

Quanto maior a conversão, maior é a quantidade de reagente transformada. Chama-se a atenção que uma conversão alta significa que o reagente é consumido, mas não obrigatoriamente é transformado no produto de interesse, conforme será discutido na sequência.

SELETIVIDADE

A seletividade de uma reação é a taxa de reagente que se transforma no produto de interesse, também chamado de produto desejado. Em uma reação química, reagentes podem ser convertidos em diferentes produtos, mas o produto de interesse pode não ser aquele que esteja presente em maior quantidade, a seletividade expressa justamente a eficiência da reação em produzir o produto desejado.

A seletividade é a razão entre a quantidade de substância (n), em mol, do produto de interesse formado e as quantidades de substância (n), em mol, de todos os produtos formados, expressa em porcentagem (%). Ela pode ser representada pela seguinte expressão:

$$\text{Seletividade} = \frac{n(\text{produto de interesse})}{n(\text{quantidade total de produtos formados})} \cdot 100\%$$

Quanto maior a seletividade, maior será a quantidade relativa do produto de interesse formada.

APOIO

Sociedade Brasileira de
Ensino de Química





Educação Ambiental em Diálogo com
Ensino de Química na Terra do Basalto
44ª EDEQ - 4º Profquisul
NOVA PRATA/RS

RENDIMENTO (η)

O rendimento, representado pelo símbolo η (eta), de uma reação química é a quantidade de produto que é obtida ao final da transformação. O rendimento pode não atingir 100% quando ao menos um dos fatores, conversão ou seletividade, não é 100%. Quer dizer, o rendimento não é 100% quando o reagente não é totalmente transformado em produto, quando o reagente é transformado em outras substâncias além daquela de interesse ou quando essas duas situações acontecem.

Ao se fazer uma síntese é possível determinar quanto de produto foi obtido imediatamente após a síntese, chamado de “rendimento bruto” (quando o produto ainda está contaminado com o reagente não consumido e/ou com outras substâncias formadas) ou quanto de produto foi obtido após a purificação, chamado “rendimento isolado”. Como o processo de purificação usualmente inclui perdas, o rendimento isolado é frequentemente inferior ao rendimento bruto.

O rendimento isolado da reação, chamado simplesmente de rendimento (η), pode ser definido como a quantidade de substância (n), em mol, do produto de interesse real formado em relação à quantidade de substância (n), em mol, do produto de interesse teórico, expresso em porcentagem (%).

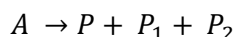
$$\eta = \frac{n(\text{produto de interesse real formado})}{n(\text{produto de interesse máximo possível})} \cdot 100\%$$

Quando aplicável, a expressão pode ser alterada para expressar a razão em massa (m) e/ou volume (V), uma vez que a proporção entre essas grandezas se mantém.

Quando o processo químico envolve reações paralelas e/ou reações consecutivas, o rendimento também pode indicar o quanto a reação desejada prevaleceu sobre as demais reações indesejadas que se tenta suprimir.

O rendimento de uma reação não é um parâmetro independente e não pode ser simplesmente controlado ou ajustado de forma simples em um processo químico. O rendimento de uma reação é dependente da conversão e da seletividade da reação.

Para se representar quantitativamente os conceitos apresentados aqui, pode-se analisar o seguinte exemplo: seja a reação química hipotética a seguir representada,



Onde:

A = reagente

P = produto de interesse

APOIO

Sociedade Brasileira de
Ensino de Química





Educação Ambiental em Diálogo com
Ensino de Química na Terra do Basalto
44^ª EDEQ - 4^º Profquisul
NOVA PRATA/RS

P₁ = subproduto 1

P₂ = subproduto 2

Considere que foram empregados inicialmente 100 mol do reagente A e, após a reação química, foram obtidos os dados para conversão (C), seletividade (S) e rendimento (η) apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Conversão, seletividade e rendimento para uma reação hipotética.

	A (mol)	P (mol)	P ₁ (mol)	P ₂ (mol)	C (%)	S (%)	η (%)
Hipótese 1	0	100	0	0	100	100	100
Hipótese 2	25	60	10	5	75	80	60
Hipótese 3	70	15	9	6	30	50	15

Ao analisar as hipóteses apresentadas, verifica-se que na hipótese 1 o reagente A foi totalmente consumido e houve produção apenas do produto de interesse (P), com isso se pode afirmar que conversão, seletividade e rendimento são totais, ou seja, 100%.

Já na hipótese 2 não houve conversão total do reagente A em produtos, há uma sobra de 25 mol e, portanto, a conversão é de 75% pois 75 mol foram convertidos em produtos. Houve produção de 60 mol de P, concluindo-se que a seletividade é de 80% uma vez que dos 75 mol de reagente A convertidos, 15 mol formaram subprodutos (P₁ e P₂) e 60 mol formaram o produto de interesse (P), já o rendimento, portanto, é de 60%.

Na hipótese 3 a conversão é de 30% pois apenas 30 mol do reagente A foram convertidos em produtos. No entanto, desses 30 mol convertidos, 15 mol formaram o produto de interesse (P), resultando em uma seletividade de 50% e em um rendimento de 15%. Verifica-se então facilmente que a relação entre os três parâmetros é:

$$\eta = \frac{C \cdot S}{100} \%$$

PUREZA

Muitas vezes os reagentes empregados são impuros (brutos), contendo majoritariamente a substância de interesse que irá, de fato, reagir. Se alguma impureza também reagir, tem-se uma complicação adicional nos cálculos estequiométricos. Também pode acontecer de o produto obtido apresentar-se misturado a outros produtos. A grande maioria dos textos que mencionam pureza a apresentam como fração mássica.

APOIO

Sociedade Brasileira de
Ensino de Química



A pureza pode ser representada pelo esquema apresentado na Figura 3 a seguir:



Figura 3: esquema de representação qualitativa de pureza de reagente e produto

Também pode-se definir pureza através da seguinte expressão:

$$\text{Pureza} = \frac{m(\text{reagente ou produto puro})}{m(\text{reagente ou produto bruto})} \cdot 100\%$$

Quando se trata de grau de pureza de reagente, a quantidade de reagente bruto empregada é sempre maior que a quantidade de reagente puro que efetivamente poderá se converter em produto, conforme facilmente se visualiza na Figura 3.

Quando se trata de grau de pureza de produto, a quantidade total de produto formada é sempre maior que a quantidade formada do produto de interesse, que será menor que o total. Isso também fica claro na Figura 3.

Muitas vezes é recomendável que os cálculos estequiométricos para pureza, principalmente pureza de produto, sejam realizados com emprego da grandeza quantidade de substância (n) uma vez que podem relacionar quantidades de substâncias diferentes onde a proporção em qualquer grandeza não é mantida. No entanto, comumente a pureza é expressa em percentual (%) de massa (m).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo principal estabelecer definições para os conceitos fundamentais relacionados a casos específicos da estequiometria, em particular rendimento de reações, pureza de reagentes e pureza de produtos. A investigação bibliográfica realizada revelou uma lacuna significativa nos materiais de referência: frequentemente, esses tópicos são tratados de forma superficial, com ênfase excessiva em exercícios resolvidos e pouca explanação teórica.

Embora exemplos práticos, analogias e recursos visuais sejam ferramentas válidas no processo de ensino, sua utilização isolada mostra-se limitada quando o



Educação Ambiental em Diálogo com
Ensino de Química na Terra do Basalto
44º EDEQ - 4º Profquisul
NOVA PRATA/RS

propósito é uma compreensão aprofundada dos princípios envolvidos. Essa abordagem fragmentada pode resultar em interpretações equivocadas, especialmente em contextos que demandam a aplicação flexível dos conceitos a situações não convencionais.

Nesse sentido, o material desenvolvido neste trabalho busca preencher essa carência, oferecendo aos docentes, discentes e profissionais da Química um recurso complementar para o estudo da Estequiometria. Espera-se que essa contribuição reduza os erros conceituais recorrentes em diferentes níveis de ensino e facilite o processo de aprendizagem, minimizando as dificuldades históricas associadas a esse tema essencial da Química.

REFERÊNCIAS

ATKINS, Peter; JONES, Loretta. **Princípios de Química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 922 p. Tradução de Ricardo Bicca de Alencastro.

FELTRE, Ricardo A. **Fundamentos da Química**: química, tecnologia e sociedade. 4. ed. São Paulo: Moderna, 2005. 700 p.

FONSECA, Martha Reis Marques da. **Química**. 1. ed. São Paulo: Ática, 2013. 3 v.

IUPAC. **Grandezas, Unidades e Símbolos em Físico-Química**. 3. ed. 2018. Tradução conjunta da Sociedade Brasileira de Química (SBQ) e da Sociedade Portuguesa de Química (SPQ). Disponível em:
https://www.s bq.org.br/livroverde/anexos/LivroVerde_IUPAC_SBQ-SPQ_2018.pdf. Acesso em: 27 jul. 2025.

PERUZZO, Francisco Miragaia; CANTO, Eduardo Leite do. **Química**: na abordagem do cotidiano. 2. ed. São Paulo: Moderna, 1998. 3 v.

RUSSEL, John B. **QUÍMICA GERAL**. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 1994. 2 v. COORDENAÇÃO DE MARIA ELIZABETH BROTTTO.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos; MOL, Gerson de Souza (org.). **Química Cidadã**. 2. ed. São Paulo: AJS, 2013. 3 v. (Química Cidadã).

APOIO

Sociedade Brasileira de
Ensino de Química

