



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL**

KARINA LUCENA BRITO

INTERAÇÕES POLÍMERO-PARTÍCULAS EM SOLUÇÃO

**CAMPINA GRANDE - PB
2023**

KARINA LUCENA BRITO

INTERAÇÕES POLÍMERO-PARTÍCULAS EM SOLUÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Química Industrial do Centro Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do Título de Bacharel em Química Industrial.

Área de concentração: Físico-química.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo José de Oliveira

**CAMPINA GRANDE - PB
2023**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

O48i Brito, Karina Lucena.
Interações polímero-partículas em solução [manuscrito] /
Karina Lucena Brito. - 2023.
34 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2023.

"Orientação : Prof. Dr. Rodrigo José de Oliveira, Coordenação do Curso de Química Industrial - CCT. "

1. Química coloidal. 2. Físico-química. 3.
Polímeros(Química Orgânica). I. Título

21. ed. CDD 547

KARINA LUCENA BRITO

INTERAÇÕES POLÍMERO-PARTÍCULAS EM SOLUÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Química Industrial do Centro Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do Título de Bacharel em Química Industrial.

Área de concentração: Físico-química.

Aprovado em: 04 / 09 / 2023 .

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rodrigo José de Oliveira (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Prof. Dra. Pablicia Oliveira Galdino
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Prof. Dra. Helvia Waleska Casullo de Araújo
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

A minha família e amigos, por estarem sempre comigo

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha mãe Josefa Silene Lucena Brito por ter me dado a vida e por sempre me ouvir e apoiar em todas minhas decisões e ao meu pai Ivonaldo Brito, por todos os ensinamentos e por ter me feito quem sou hoje.

A minha irmã Katiana Lucena Brito, que sempre me deu confiança e motivação, por todos os momentos que dividimos juntas que causam saudade todos os dias. Obrigada irmã.

Aos meus irmãos Ewerton Lucena Brito, Ayrton Lucena Brito e Giovani Lucena Brito que sempre me trouxeram alegria e diversão mesmo nos momentos de dificuldade, sempre que estamos juntos.

Ao meu namorado Jamees David Camêlo de Souza, por estar comigo desde o início dessa trajetória, pelo companheirismo de todos os dias e por constantemente me lembrar da minha capacidade. Obrigada por tudo amor. À minha sogra Rosinete por todo carinho e acolhimento durante esses anos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rodrigo José de Oliveira, pela paciência e dedicação durante todo o processo de orientação, gratidão.

À banca examinadora, Profa. Dra. Pablícia Oliveira Galdino, coordenadora do curso, por toda sua generosidade e apoio sempre que tive dúvidas, e a Profa. Dra. Helvia Waleska Casullo de Araújo por ter aceito fazer parte desta banca e colaborar para a melhoria deste trabalho, muito obrigada.

À minha amiga de infância Bianca Farias, por ter sempre estado comigo e por ter compartilhado momentos incríveis, mesmo que distantes, agradeço por tudo.

À minha amiga Valéria Lima, que desde o início me proporcionou bons momentos enquanto colegas de turma, e que desde então não mediu esforços para continuarmos com essa parceria e amizade me apoiando e estando sempre lá por mim. Obrigada Val.

À todos que passaram por essa jornada e deixaram sua contribuição.

À UEPB.

*“Não há nenhum lugar que você possa estar
que não seja onde você deve estar.”*
(John Lennon).

RESUMO

Sistemas coloidais é um campo de estudos muito interessante e tem sido cada vez mais notável, pelos seus atributos e características. Os materiais bibliográficos reunidos para a realização deste trabalho provêm de artigos de revistas e jornais, livros, dissertações, teses, artigos de periódicos científicos, monografias e estudos apresentados em congressos. O foco desta revisão é investigar as relações entre polímeros e partículas, a fim de entender os processos fundamentais e como eles influenciam as qualidades físico-químicas da solução e a eficácia em aplicações industriais. As dispersões (colóides) são o foco desse estudo, no qual compreende diversas aplicabilidades, pois dependendo das características das suas duas fases (meio de dispersão e partículas dispersas) podem se comportar de maneiras distintas e apresentar propriedades diferentes e únicas. Entre as interações que ocorrem entre as partículas na mistura temos, forças atrativas de van der Waals, forças repulsivas originadas da dupla camada elétrica que é formada pelas camadas difusa e Stern, essas forças estão ligadas diretamente com a estabilidade do sistema coloidal. O polímero é outro fator importante na estabilidade coloidal, pois a sua presença no sistema afeta de forma intrínseca suas características. Os polímeros são de fato materiais essenciais e eficientes com aplicações nas mais diversas áreas industriais, por conta das suas características e propriedades foram substituindo aos poucos diversos tipos de materiais. Polímeros são macromoléculas compostos por diversas unidades de monômeros de ligação intramolecular primária forte (covalente) e as suas propriedades coloidais se dão principalmente pelo seu tamanho. As interações entre polímero-partículas podem causar a sua estabilização ou instabilização, uma maior solubilidade do polímero no meio favorece a estabilidade. Entre essas interações podemos destacar, as de repulsão estérica, floculação em ponte e efeito de depleção. Os polímeros quando adicionados às dispersões coloidais podem se adsorver ou não nas superfícies das partículas. No efeito de depleção, os polímeros não se adsorvem as partículas, ficam livres no meio de dispersão ao redor das mesmas, trazendo estabilidade com uma concentração constante do polímero até a superfície da partícula, uma condição que pode ser denominada de adsorção neutra. O tamanho das cadeias poliméricas e sua concentração são os fatores cruciais para a determinação da estabilidade coloidal, uma concentração demasiada de polímeros desestabiliza o sistema, facilitando a atração das partículas na formação de aglomerados, já em concentração adequada estabiliza os colóides com eficiência. Antes de trabalhar com sistemas reais na indústria, é essencial entender completamente as interações entre partículas e entre polímeros e partículas. Todos esses aspectos são cruciais para garantir as características esperadas do produto final.

Palavras-chave: Dispersões coloidais; Compostos poliméricos; Depleção.

ABSTRACT

Colloidal systems is a highly intriguing field of study and has become increasingly notable due to its attributes and characteristics. The bibliographic materials gathered for this study are sourced from newspaper and magazine articles, specialized books, dissertations, theses, scientific journals, monographs, and studies presented at conferences. The main focus of this review is to investigate the interactions between polymers and particles to understand the fundamental processes and how they influence the physicochemical qualities of the solution and their effectiveness in industrial applications. Dispersions (colloids) are at the heart of this study, encompassing various applicabilities. Depending on the characteristics of their two phases (dispersion medium and dispersed particles), they can behave in distinct ways and exhibit unique and different properties. Among the interactions that occur between the particles in the mixture, we find attractive van der Waals forces, repulsive forces stemming from the double electric layer formed by the diffuse and stern layers—these forces are directly linked with the stability of the colloidal system. Polymers play another crucial role in colloidal stability as their presence intrinsically affects the system's characteristics. Polymers are, in fact, essential and efficient materials with applications in a wide range of industrial sectors. Due to their properties and characteristics, they have gradually replaced various types of materials. Polymers are macromolecules composed of numerous monomer units bonded by strong primary (covalent) intramolecular links. Their colloidal properties mainly arise from their size. The interactions between polymer-particles can either stabilize or destabilize the system; a higher solubility of the polymer in the medium promotes stability. Noteworthy among these interactions are steric repulsion, bridging flocculation, and depletion effect. When polymers are added to colloidal dispersions, they may either adsorb onto particle surfaces or not. In the depletion effect, polymers don't adhere to the particles but remain free in the dispersion medium around them, ensuring stability with a constant polymer concentration up to the particle surface—a condition that might be termed neutral adsorption. The size of the polymer chains and their concentration are pivotal in determining colloidal stability. An excessive polymer concentration destabilizes the system, promoting particle attraction and agglomerate formation. In contrast, an optimal concentration efficiently stabilizes colloids. Before working with real systems in the industry, it's vital to fully comprehend the interactions between particles and between polymers and particles. All these facets are crucial to ensuring the desired features of the final product.

Keywords: Colloidal dispersions; Polymeric compounds; Depletion.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Diferentes estruturas nos sistemas coloidais.....	12
Figura 2 –	Comportamento das partículas dispersas em um sol liofóbico.....	13
Figura 3 –	Comportamento das partículas dispersas em um sol liofílico.....	14
Figura 4 –	Representação da dupla camada elétrica em uma superfície de carga positiva.....	15
Figura 5 –	Mecanismos de estabilização.....	16
Figura 6 –	Fases estáveis e instáveis de uma suspensão coloidal.....	17
Figura 7 –	Região no plano de cisalhamento onde o potencial zeta se localiza e atua na atração dos contra-íons para a superfície das partículas.....	18
Figura 8 –	Energia de interação entre duas partículas em relação a força iônica do meio de dispersão. (a) força iônica reduzida, (b) força iônica moderada (c) força iônica elevada.....	19
Figura 9 –	Forças atrativas e repulsivas da distância entre os colóides.....	19
Figura 10 –	Polimerização de monômeros vinílicos (formação de um polímero).....	20
Figura 11 –	Dipolos permanentes da poliacrilonitrila PAN.....	21
Figura 12 –	Formação da ponte de hidrogênio pela ligação entre moléculas.....	22
Figura 13 –	Formação do polímero pelo método de adição.....	24
Figura 14 –	Polimerização do sal de náilon para obtenção do náilon 6,6 (polihexametileno adipamida) por reação de condensação.....	24
Figura 15 –	Cadeias moleculares, a) lineares, b) ramificados, c) reticulados.....	25
Figura 16 –	Homopolímeros na qual dispõem apenas um tipo de monômero.....	26
Figura 17 –	Principais termoplásticos industriais amorfos e semicristalinos de acordo com sua performance mecânica e térmica.....	27
Figura 18 –	Polímeros em dissolução. a) estabilização por depleção, b) o polímero é afastado da área entre as partículas pela aproximação e atração das mesmas, ocorrendo floculação por depleção.....	28
Figura 19 –	Interações induzidas por polímeros entre superfícies coloidais.....	28

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	12
2.1	Conceito de dispersão	12
2.1.1	<i>Classificação das dispersões coloidais</i>	13
2.2	Estabilidade coloidal	15
2.2.1	<i>Dupla camada elétrica</i>	15
2.2.2	<i>Mecanismos de estabilização em suspensões coloidais</i>	16
2.2.3	<i>Potencial Zeta</i>	17
2.2.4	<i>Teoria DLVO</i>	18
2.3	Introdução aos polímeros	20
2.3.1	<i>Classificação dos polímeros</i>	22
2.3.1.1	<i>Estrutura química</i>	22
2.3.1.2	<i>Método de polimerização</i>	23
2.3.1.3	<i>Comportamento mecânico/térmico</i>	24
2.3.1.4	<i>Arquitetura das cadeias moleculares</i>	25
2.3.1.5	<i>Tipo de unidade de repetição</i>	25
2.3.1.6	<i>Ordem estrutural</i>	26
2.4	Interação entre polímeros e partículas coloidais	27
3	METODOLOGIA	30
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
	REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

O termo colóide foi sugerido pelo químico escocês Thomas Graham em 1861, vem do grego *cola*, e parte das soluções de goma arábica que o cientista trabalhava na época, onde possuía aparência viscosa e sem estrutura na qual até aquele momento era chamado de pseudo solução, hoje definida como dispersões coloidais (Botari *et al.*, 2012; Rodrigues *et al.*, 2020).

Sistemas coloidais há tempos vêm sendo um campo de estudo cada vez mais notável, pois podem ser encontrados na natureza ou ser sintetizados, fazendo parte tanto do dia a dia do ser humano como em importantes processos industriais, trazendo melhorias e evoluções na qualidade de vida na sociedade. Estão presentes no nosso cotidiano, na área de cosméticos e higiene pessoal, produtos alimentícios, tintas, plásticos, processos de tratamento de água, análise do solo e até nas partículas presentes no ar (Jafelicci Junior; Varanda, 1999).

A química dos colóides, apesar de muito interessante, é um assunto ainda muito complexo que às vezes pode não ser tratado com tanta exatidão, envolvendo muitos fatores físico-químicos que afetam o comportamento dos sistemas coloidais como, a dimensão, forma e flexibilidade das partículas, as interações partícula-partícula, partícula-solvente e propriedades superficiais (Shaw, 1975).

As interações entre as fases da mistura são a base para o comportamento e a estabilidade do sistema coloidal. Entre as interações na superfície estão, interações atrativas de van der Waals, interações repulsivas da dupla camada elétrica, interações repulsivas estéricas, interações de solvatação e interação hidrofóbica. Sendo assim, conforme essas interações ocorram, os sistemas coloidais podem se comportar e apresentar propriedades diferenciadas e particulares (Rodrigues *et al.*, 2020; Senisse, 2012).

Um elemento muito importante na estabilização das dispersões coloidais é o polímero. Utilizando das forças repulsivas de ordem estéricas, os polímeros podem se adsorver na superfície das partículas coloidais formando uma camada repulsiva, dificultando assim a aproximação das partículas por impedimento físico, na qual a espessura dessa camada deve ser maior que a distância das forças de atração de van der waals para se manter estável. A estabilização utilizando-se de polímeros também pode ocorrer por depleção, no que concerne a não adsorção dos polímeros à superfície das partículas, mas alguns fatores como, tamanho e concentração dos polímeros, propriedades das partículas coloidais como cargas elétricas, pode ocasionar na floculação das mesmas, gerando instabilidade no sistema. (Gouvêa; Murad, 2001; Santos, 2014; Delavi, 2011). O principal objetivo desta revisão é analisar as interações

entre polímeros e partículas, para compreender os mecanismos subjacentes e suas implicações nas propriedades e características físico-químicas da solução e funcionalidades em produtos industriais.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Conceito de Dispersão

Dispersões coloidais são misturas formadas por duas ou mais substâncias, podendo ser apresentadas nas três formas do estado físico (sólido, líquido ou gasoso). Essas misturas consistem em duas fases principais, a fase dispersa e o meio de dispersão, onde a fase dispersa é distribuída no meio de dispersão (Hunter, 2001; Jafelicci Junior; Varanda, 1999; Cosgrove, 2005).

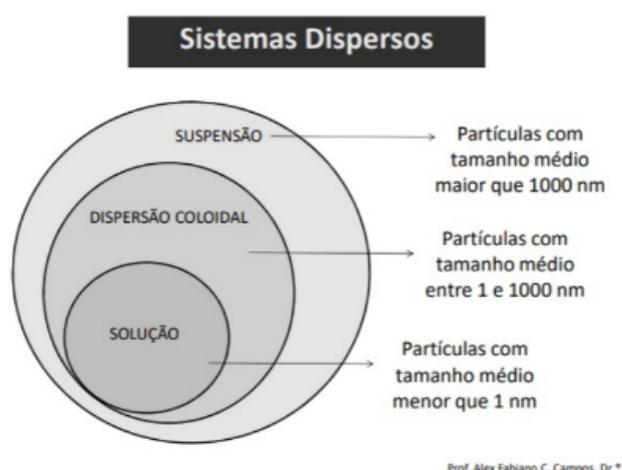
De acordo com Shaw (1975), as estruturas dos sistemas coloidais se diferem dependendo do tamanho das partículas dispersas no meio de dispersão, na qual são divididas em três classes:

- Soluções, quando o tamanho das partículas dispersas é menor que 1 nm, não se sedimentam e não é possível fazer separação por filtro.

- Dispersão coloidal ou colóides, quando as partículas possuem entre 1 nm e 1 μm, são partículas muito pequenas, mas que é possível de separação por meio de ultrafiltro e consequentemente a visualização dessas fases por meio de ultramicroscópio.

- Suspensões, onde as partículas presentes são maiores que 1 μm, podem ser separadas por filtro comum e sofrem sedimentação espontânea, como é mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Diferentes estruturas nos sistemas coloidais.



Fonte: Adaptado de Carvalho *et al.* (2019).

As propriedades dos sistemas coloidais e não-coloidais, no entanto, enquanto próximos do intervalo superior da dimensão coloidal, são difíceis de serem diferenciadas com exatidão (Shaw, 1975).

2.1.1 Classificação das dispersões coloidais

De acordo com Carvalho *et al* (2019), para os colóides, em relação a natureza das partículas presentes na fase dispersa, podem haver três tipos:

- Micelares, onde as partículas dispersas na mistura são constituídos por agregados de átomos, moléculas ou íons;
- Moleculares, no qual as partículas são formadas por macromoléculas;
- Iônicos, as partículas são compostas de grupos com carga elétrica (íons).

No que se refere a interação entre as partículas com o meio de dispersão, Hiemenz; Rajagopalan (1997), classifica os sistemas como:

- Colóides Liofóbicos: As partículas dispersas têm uma baixa afinidade com o solvente e uma tendência a coalescer para evitar o meio de dispersão, o que vêm a causar uma instabilidade no sistema, dessa forma sendo necessário passar por processos de estabilização, com a adição de substâncias estabilizantes como surfactantes ou polímeros.

Na Figura 2 pode ser observada como as partículas dispersas se comportam em um colóide liofóbico.

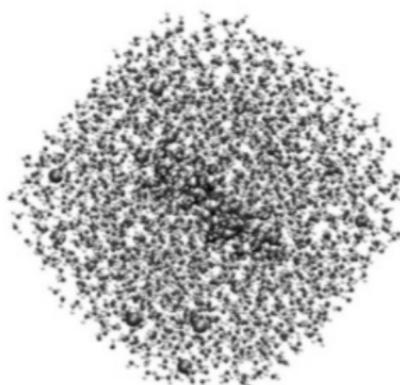
Figura 2 - Comportamento das partículas dispersas em um colóide liofóbico.



Fonte: Adaptado de Carvalho *et al*, 2019.

- Colóides Liofílicos: As partículas dispersas têm afinidade pelo solvente, se dispersam uniformemente no meio de dispersão e se estabilizam espontaneamente (Hiemenz; Rajagopalan, 1997). Conforme mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Comportamento das partículas dispersas em um colóide liofílico.



Fonte: Adaptado de Carvalho *et al*, 2019.

As dispersões coloidais podem ser apresentadas de formas diferentes dependendo das características físicas, da natureza e comportamento da fase dispersa e do meio de dispersão na mistura. Portanto, de acordo com os estados físicos das fases, podemos classificá-las de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1: Classificação das dispersões coloidais.

Fase dispersa	Meio de dispersão	Colóide	Exemplos
Líquido	Gás	Aerossol líquido	Névoas, sprays de perfume
Sólido	Gás	Aerossol sólido	Fumaça, poeira
Gás	Líquido	Espuma	Espuma em soluções de sabões, espumas de extintores de incêndio
Líquido	Líquido	Emulsão	Leite, maionese
Sólido	Líquido	Sol	Paste de dente, sol de Au
Gás	Sólido	Espuma sólida	Espuma de poliestireno expandido
Líquido	Sólido	Emulsão sólida	Opala, pérola
Sólido	Sólido	Suspensão sólida	Plásticos pigmentados

Fonte: Adaptado de Shaw, 1975.

Todos os tipos de combinações em relação aos estados físicos entre a fase dispersa e o meio de dispersão são possíveis e possuem uma denominação específica, exceto pelo sistema gás-gás (Carvalho *et al*, 2019).

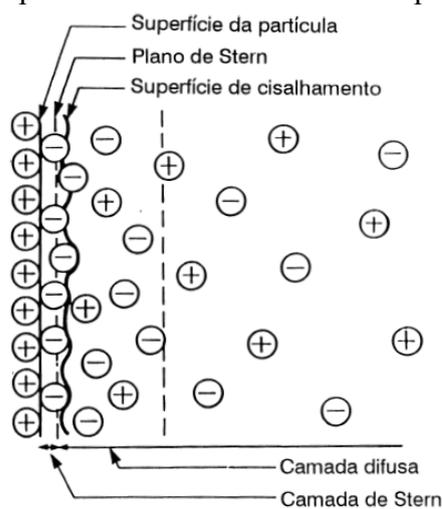
2.2 Estabilidade coloidal

2.2.1 Dupla camada elétrica

Cargas elétricas superficiais estão ligadas essencialmente com a estabilidade de um sistema coloidal. A maioria das suspensões coloidais adquirem essas cargas quando em contato com meio aquoso ou polar, que se originam por meio de ionização, adsorção de íons ou dissolução de íons. Dessa forma, essas cargas superficiais agem na distribuição dos íons no sistema, na qual um número limitado de íons de carga opostas (contra-íons) são atraídos e se adsorvem na superfície da partícula e os íons de cargas iguais (co-íons) são repelidos para o meio. A área carregada próxima a superfície (camada stern) juntamente com o meio polar (camada difusa) onde ocorre o balanço de cargas, é o que chamamos de dupla camada elétrica (Shaw, 1975; Almeida, 2018).

Como é mostrado na Figura 4 a camada de stern tem seus contra-íons imóveis e distribuídos uniformemente formando uma camada compacta ao redor da partícula, já na camada difusa os íons são móveis e se distribuem no meio de acordo com a distribuição exponencial.

Figura 4 - Representação da dupla camada elétrica em uma superfície de carga positiva.

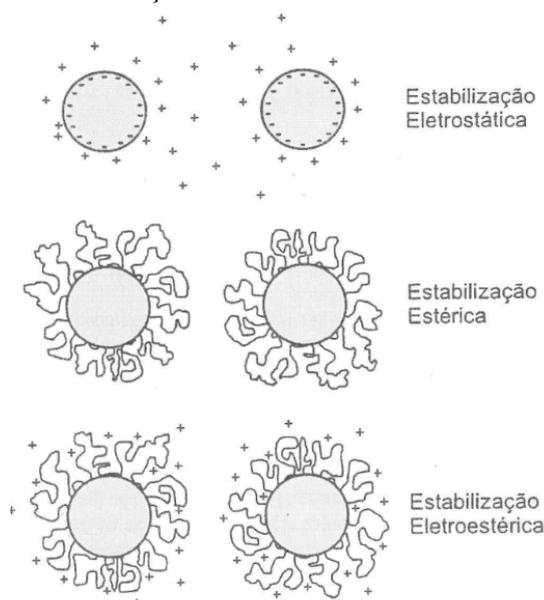


Fonte: Adaptado de Hotza, 1997.

2.2.2 Mecanismos de estabilização em suspensões coloidais

Conforme Ortega et al, (1997), existem dois mecanismos básicos para a estabilização de uma suspensão coloidal, elas são chamadas de estabilização eletrostática e estabilização estérica, e quando combinadas podem formar ainda uma estabilização eletroestérica. Podemos ver esses mecanismos através da Figura 5.

Figura 5 - Mecanismos de estabilização.



Fonte: Ortega *et al*, 1997.

Na estabilização eletrostática, ocorre uma repulsão da dupla camada elétrica entre as partículas, essa repulsão mantém as partículas afastadas umas das outras (Ortega *et al*, 1997).

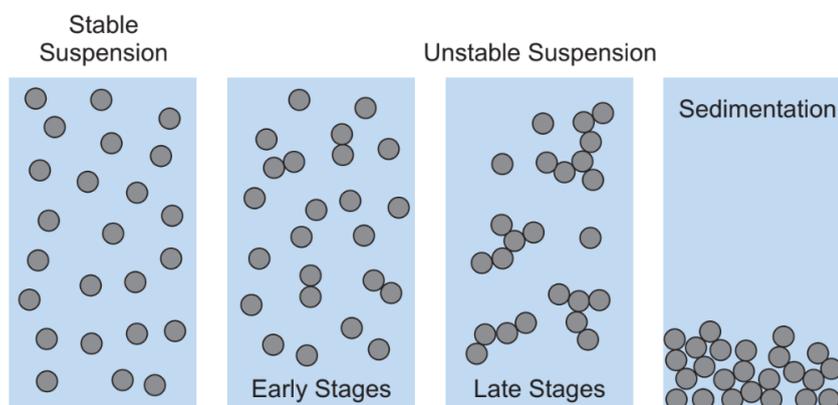
Na estabilização estérica, ocorre a adsorção de polímeros nas superfícies das partículas, dessa forma impedindo mecanicamente que as partículas se aproximem, devido a camada protetora formada pelos polímeros (Ortega *et al*, 1997).

Na estabilização eletroestérica, há uma junção dos métodos descritos anteriormente. Nesse caso, os polímeros que são adsorvidos são polieletrólitos (apresentam grupos ionizáveis), se dissociando na fase líquida. Dessa forma, cria-se uma barreira eletrostática devidos aos íons que vieram dessa dissociação, e também a barreira mecânica devidos às cadeias poliméricas adsorvidas nas superfícies das partículas (Ortega *et al*, 1997).

2.2.3 Potencial zeta

O potencial elétrico das partículas em um sistema coloidal trata de algumas de suas propriedades, entre elas a estabilidade. Para uma suspensão ser considerada estável, as partículas não podem estar aglomeradas, coaguladas ou floculadas (Gouvêa; Murad, 2001). Como podemos ver na Figura 6 as fases de uma suspensão estável e instável.

Figura 6 - Fases estáveis e instáveis de uma suspensão coloidal.



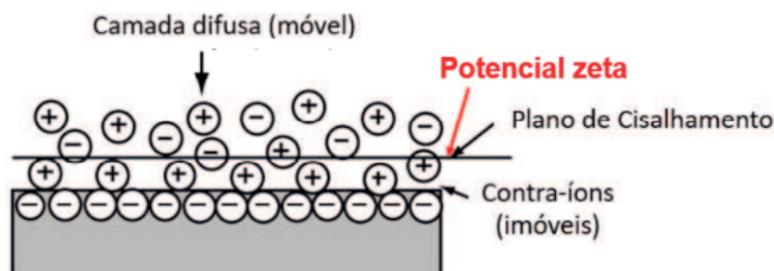
Fonte: Trefalt, 2014.

A estabilização dessas suspensões é controlada pelo potencial elétrico das partículas, e pela espessura que os contra-íons formam na dupla camada elétrica. e o que vai determinar a força dessas cargas é o potencial zeta (Gouvêa; Murad, 2001).

A diferença do potencial elétrico da dupla camada entre as partículas (camada difusa) e o meio dispersante do sistema coloidal é chamado de potencial zeta. Ele se dispõe no plano de cisalhamento na qual demarca a divisão das partículas que se movimentam devido à ação do campo elétrico da camada difusa. A estabilidade do sistema coloidal é influenciada pelo potencial zeta, quando as partículas possuem um potencial zeta alto, podendo ser positivo ou negativo, indica que a repulsão entre elas é alta o que as mantém afastadas e, portanto, garante a estabilidade da suspensão. Caso o contrário ocorra, onde o potencial zeta é baixo, as forças de repulsão são fracas para evitar a agregação natural das partículas (Delavi, 2011; Gouvêa; Murad, 2001; Oliveira, 1998; Schaffazick *et al.*, 2003).

A Figura 7 demonstra onde a propriedade elétrica do potencial zeta acontece, próxima a superfícies das partículas.

Figura 7 - Região no plano de cisalhamento onde o potencial zeta se localiza e atua na atração dos contra-íons para a superfície das partículas.



Fonte: Adaptado de Almeida, 2018.

2.2.4 Teoria DLVO

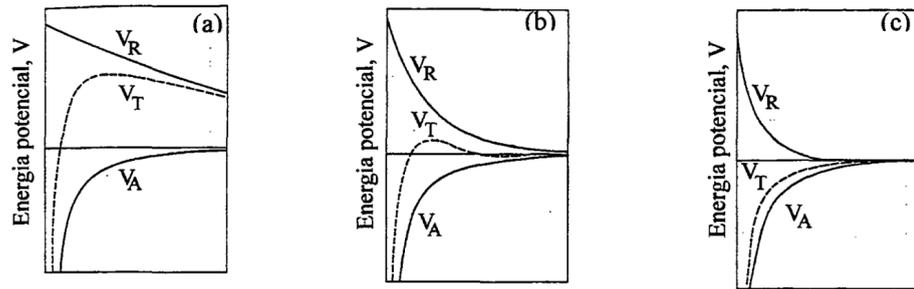
Segundo Cruz (1996) e Almeida (2018), a teoria DLVO se origina dos cientistas russos Boris Derjaguin e Lev Landau em 1941, e dos cientistas holandeses Evert Verwey e Theodoor Overbeek em 1948. Essa teoria declara que o potencial das interações das partículas coloidais no meio de dispersão é proveniente da combinação das forças atrativas de van der Waals e das forças repulsivas eletrostáticas da dupla camada elétrica, pela equação 1:

$$V_t = V_r + V_a \quad (\text{Equação 1})$$

No qual V_r é a energia repulsiva originada da dupla camada elétrica, V_a é a energia atrativa vinda das forças de van der Waals e V_t é o potencial de interação total da soma das duas forças (Oliveira, 1998; Santos, 2014). Uma suspensão é estável termodinamicamente quando o valor da energia potencial de interação entre as partículas, V_T , é negativo (Delavi, 2011).

Dessa forma, dependendo das características do sistema coloidal, a intensidade da força eletrostática repulsiva irá determinar se esse potencial vai prevalecer sendo atrativo ou repulsivo e se o sistema irá se manter instável ou não. Caso as partículas se agreguem, as forças atrativas são predominantes e caso se dispersem são repulsivas (Cruz, 1996). Podemos ver como as forças de repulsão se comportam com a diferença de força iônica no meio de dispersão, na qual não afeta as forças atrativas, na Figura 8.

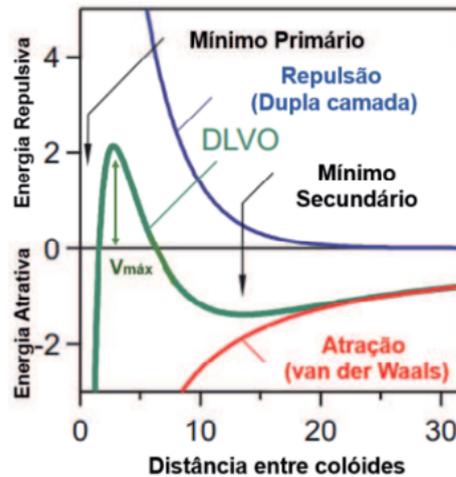
Figura 8 - Energia de interação entre duas partículas em relação a força iônica do meio de dispersão. (a) força iônica reduzida, (b) força iônica moderada (c) força iônica elevada.



Fonte: Cruz, 1996.

Pode-se observar na Figura 9, uma curva de distância de energia que expõe o estado da estabilidade ou não, em relação às forças de atração e repulsão da teoria DLVO, na qual $V_{\text{máx}}$ (máximo primário) é uma barreira energética que se forma a partir da dupla camada elétrica.

Figura 9 - Forças atrativas e repulsivas da distância entre os colóides.



Fonte: Adaptado de Almeida, 2018.

As forças atrativas sendo predominantes, mostra que a distância entre as partículas é de curto alcance fazendo com que elas se aproximem e se mantenham unidas pela energia de interação (mínimo primário). Caso partículas muito distantes tentem se aproximar, se a sua energia térmica (movimento browniano) não for maior que a barreira energética repulsiva da dupla camada elétrica das partículas, elas se manterão distantes. A espessura da barreira energética denominada de máximo primário vai depender da densidade da carga superficial e da concentração de eletrólitos no sistema. Ao atingir o ponto mínimo secundário, acontece uma agregação que pode ser desfeita facilmente por agitação, que devolve a estabilidade no sistema (Cruz, 1996; Almeida, 2018).

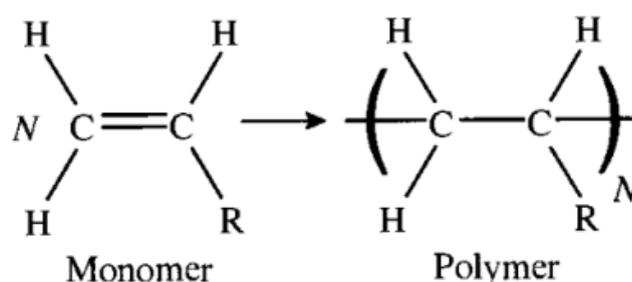
2.3 Introdução aos polímeros

Os polímeros são materiais de extrema importância, que foram se tornando essenciais para diversas aplicações em todos os tipos de áreas na sociedade. Com o crescimento rápido de seu uso ao decorrer dos anos, foi substituindo outros tipos de materiais se mostrando muito mais prático e eficiente, devido as suas diversas aplicabilidades e vantagens como: durabilidade, baixa densidade, custo, facilidade de fabricação e reciclagem, isolamento térmico e acústico, suas propriedades mecânicas e características de amortecimento, e vastas possibilidades de aditivação (Rabelo, 2023).

Polímeros são macromoléculas formadas por várias unidades de monômeros ligadas entre si covalentemente (ligação intramolecular primária forte), essas ligações vão estabelecer a flexibilidade, estrutura química e tipo de cadeia polimérica do polímero. As propriedades coloidais dos polímeros estão ligadas diretamente com o tamanho dessas macromoléculas, o que torna sua alta massa molecular sua principal característica (Rubinstein; Colby, 2003; Canevarolo Junior, 2010).

A Figura 10 expõe a polimerização de monômeros.

Figura 10 - Polimerização de monômeros vinílicos (formação de um polímero).

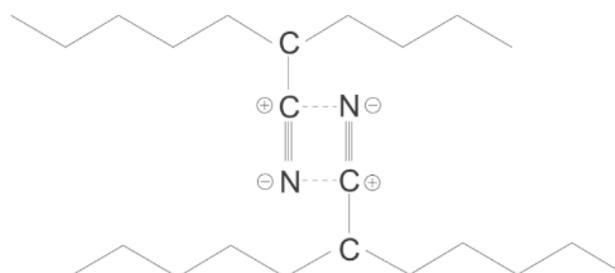


Fonte: Rubinstein, 2003.

Baseado em Canevarolo Junior (2010), as forças moleculares secundárias fracas ou intermoleculares, agem entre as cadeias poliméricas, tendem a aumentar na presença de grupo polares e a diminuir conforme as moléculas se distanciam. Essas forças podem ser de van der Waals, que são subdivididas em:

- Interação dipolo-dipolo, força de atração entre dois dipolos permanentes de sinais opostos que se aproximam, com uma energia baixa de ligação. Ocorre em polímeros polares como o PVC e o poli(flúoreto de vinila). Essa interação é apresentada na Figura 11.

Figura 11 - Dipolos permanentes da poliacrilonitrila PAN.

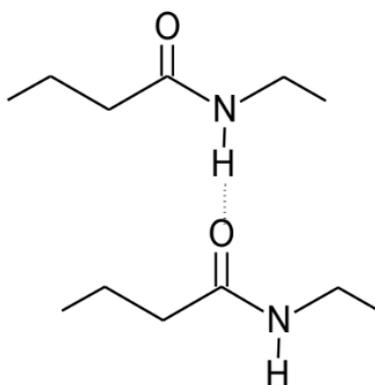


Fonte: Canevarolo Junior, 2010.

- Dipolo-dipolo induzido (forças de indução), acontece quando a presença de um dipolo permanente, que pode induzir o desbalanceamento das cargas de uma molécula próxima, origina um dipolo induzido. Entre o dipolo induzido e o dipolo permanente se cria uma força de atração secundária fraca, na qual não é muito comum em polímeros, pois caso houvesse um dipolo permanente ele estaria presente no mero, e, portanto, ao longo de toda cadeia polimérica, gerando assim uma força de atração do tipo dipolo-dipolo.
- Forças de dispersão (London), ocorre quando os momentos de dipolo oscilam momentaneamente causando uma assimetria na distribuição das cargas, criando uma região polar em uma molécula que é apolar, provocando interação das moléculas vizinhas. A polarização temporária das moléculas vizinhas, cria um dipolo instantâneo-dipolo induzido, causando uma atração fraca entre as moléculas, mas quem em grande escala pode contribuir para as propriedades físicas da substância. Estão presentes em moléculas de baixa polaridade como polietileno, poliestireno e polipropileno.

Também pode ser por ligações de hidrogênio, que são o segundo tipo de ligação secundária, mais forte que as anteriores. São interações eletrostáticas que envolve a ligação covalente do hidrogênio a um átomo eletronegativo, com átomos eletronegativos em outra molécula, essas ligações criam uma ponte de hidrogênio fraca entre as moléculas, que facilita a transferência de prótons entre elas. Estão presentes em poliamidas, proteínas, álcool polivinílico, celulose (Rabello, 2023). A Figura 12 mostra a ponte formada pela ligação de hidrogênio.

Figura 12 - Formação da ponte de hidrogênio pela ligação entre moléculas.



Fonte: Rabello, 2023.

Essas forças vão designar as propriedades físicas do polímero em sua maioria como, solubilidade, cristalinidade, solubilidade, permeabilidade a gases e vapores, e o fluxo entre as cadeias se torna bastante difícil caso essas forças sejam fortes, pois há uma maior atração entre elas (Canevarolo Junior, 2010).

2.3.1 Classificação dos polímeros

De acordo com Rabelo (2023) e Canevarolo Junior (2010), a classe de materiais dos polímeros é um grupo bastante amplo, de natureza orgânica e entendem produtos como: plásticos, borrachas, resinas, adesivos, espumas, tintas, amido, proteína. E a sua classificação é complicada, por serem um grupo de materiais bastante amplo, leva em consideração vários fatores para tipos diferentes de classes. Abaixo as diferentes classes e seus principais polímeros.

2.3.1.1 Estrutura química

Em conformidade com Canevarolo Junior (2010), a estrutura química do polímero pode se dar por duas subdivisões, polímeros de cadeia carbônica e polímeros de cadeia heterogênea.

Polímeros de cadeia carbônica

São polímeros que derivam de monômeros alifáticos insaturados de hidrocarboneto que possuem uma ligação dupla reativa entre carbonos. Ex:

- Poliolefinas - Polietileno (PE) e Polipropileno (PP);
- Polímeros de dienos - Polibutadieno (BR);
- Policloropreno - Neoprene (CR), Borracha Nitrílica (NBR), Borracha Natural (Poli-cis-isopreno, NR);
- Estirênicos - Poliestireno (PS);
- Clorados - Policloreto de vinila (PVC);
- Fluorados - Politetrafluoroetileno (PTFE);
- Acrílicos - Polimetilmetacrilato (PMMA), conhecido por acrílico, e a poliacrilonitrila (PAN – utilizada na fiação);
- Polivinil ésteres - Poliacetato de vinila (PVA);
- Poli fenol-formaldeído - Classe especial resinas de fenol-formaldeído.

Polímeros de cadeia heterogênea

Nesses polímeros, além do carbono, a cadeia principal contém átomos como oxigênio, nitrogênio e enxofre, conhecido como heteroátomo. Ex: Poliéteres; poliésteres; policarbonato; poliamidas; poliuretanos; aminoplásticos; siliconados; derivados da celulose.

2.3.1.2 Método de polimerização

O que define a estrutura molecular do polímero, como a massa molecular e sua distribuição é a polimerização, existem dois métodos: polímeros de adição e polímeros de condensação (Rubinstein, 2003).

A partir de Rubinstein (2003) e Canevarolo Junior (2010), os dois métodos são descritos como:

Polímeros de adição, durante a formação não tem perda de massa, o peso do polímero final é igual ao do monômero que foi adicionado, como mostrado na Figura 13. Exemplos: PE, PP, PVC, PMMA.

Figura 13 - Formação do polímero pelo método de adição.

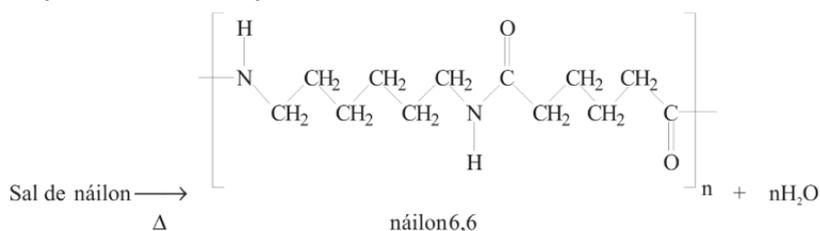


Fonte: Canevarolo Junior, 2010.

Polímeros de condensação se originam da reação de dois grupos funcionais reativos, eliminando moléculas de baixo peso molecular (água, amônio, HCl, etc.).

A Figura 14 exibe a polimerização por reação de condensação descrita acima.

Figura 14 - Polimerização do sal de náilon para obtenção do náilon 6,6 (polihexametileno adipamida) por reação de condensação.



Fonte: Canevarolo Junior, 2010.

2.3.1.3 Comportamento mecânico/térmico

Conforme Rabello (2023), os materiais poliméricos são sólidos na temperatura de uso, geralmente à temperatura ambiente ou próximo dela, e são divididos em três classes: Plásticos, Elastômeros e Fibras.

Plásticos

Termoplásticos - são solúveis e fusíveis, apresentam cadeias ramificadas e lineares. Ex: PE, PP, PVC;

Termorrígidos - possuem uma arquitetura reticulada, são infusíveis e insolúveis. Ex: resina de fenol-formaldeído (baquelite), epóxi (araldite);

Baroplásticos - se deformam com o aumento da pressão e podem retornar para seu estado original.

Elastômeros

São considerados termorrígidos especiais, pois suas cadeias são mais flexíveis por conta do menor número de reticulações na arquitetura. BV (borracha vulcanizada).

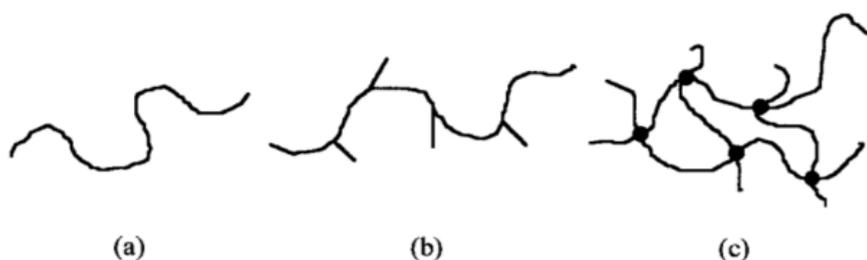
Fibras

São estruturas finas e flexíveis, onde a orientação das cadeias e dos cristais é feita de modo forçado durante a fiação, aumentando a resistência mecânica. Ex: Fibras de poliacrilonitrila (PAN); náilon; poliéster (PET).

2.3.1.4 Arquitetura das cadeias moleculares

Como observado por Rubinstein (2003) e Rabello (2023), a arquitetura das cadeias moleculares podem ser diferenciadas em, lineares, ramificados e reticulados (ligações cruzadas). Onde vai depender de dois fatores, a funcionalidade (número de pontos reativos do monômero) e o controle durante a polimerização. Podemos ver na Figura 15 abaixo, os tipos de arquitetura dessas cadeias.

Figura 15 - Cadeias moleculares, a) lineares, b) ramificados, c) reticulados.



Fonte: Rabello, 2023.

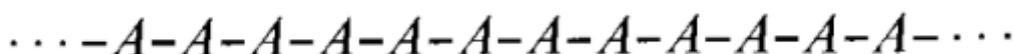
2.3.1.5 Tipo de unidade de repetição

A partir de Rubinstein (2003) e Canevarolo Junior (2010). O tipo de unidade de repetição se refere a estrutura molecular que se repete ao longo da cadeia polimérica, e podem ser divididas em homopolímeros e copolímeros.

Homopolímeros

Homopolímeros contém monômeros de apenas um tipo. Demonstrado abaixo na Figura 16.

Figura 16 - Homopolímeros na qual dispõem apenas um tipo de monômero.

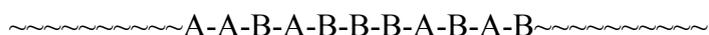


Fonte: Rubinstein, (2003).

Copolímeros

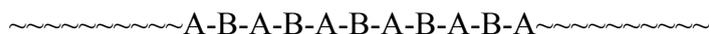
Copolímeros contém mais de um tipo de monômeros e são subdivididos em 3 formas:

Aleatório: não há uma sequência definida das disposições dos meros.



Exemplos: copolímero de etileno-acetato de vinila (EVA), borracha sintética de estireno e butadieno (SBR).

Alternado: os diferentes meros se dispõem de maneira alternada.



Um dos poucos exemplos é o copolímero de anidrido maleico-estireno.

Blocado: ocorre a formação de grandes sequências (blocos) de um mero que se alterna com outras grandes sequências de outro mero.



Exemplos: borracha termoplástica tribloco de estireno e butadieno (SBS) ou isopreno (SIS).

2.3.1.6 Ordem estrutural

Baseado em Rabello 2023, dependendo de sua estrutura, os polímeros podem ser subdivididos em duas classes: amorfos e semicristalinos.

Amorfos

Os amorfos não possuem uma estrutura ordenada, suas cadeias se dispõem de maneira aleatória. Normalmente são transparentes por conta da sua estrutura molecular e possuem temperatura de transição vítrea na qual a fase amorfa passa de uma forma vítrea para borrachosa com o aquecimento, e volta para vítrea com o resfriamento.

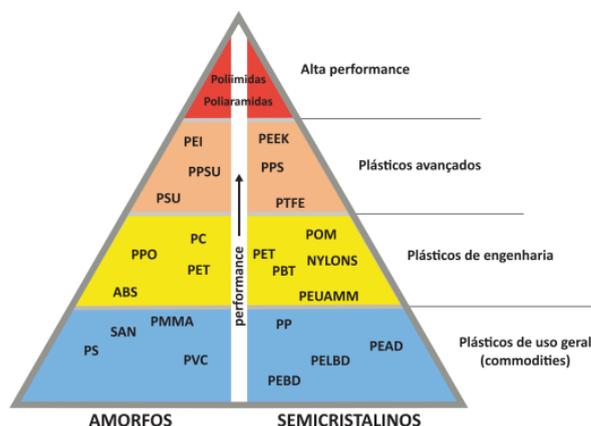
Semicristalinos

Possuem em sua cadeia molecular, áreas de estrutura amorfa (desordenada), e áreas de estrutura ordenada, intercaladamente. Normalmente são opacos, por conta das áreas cristalinas

que dispersam a luz. Os polímeros semicristalinos possuem duas transições, vítrea e de fusão, que fundem as regiões cristalinas.

Na Figura 17, estão demonstrados exemplos de polímeros entre as classes amorfas e semicristalinas.

Figura 17 - Principais termoplásticos industriais amorfos e semicristalinos de acordo com sua performance mecânica e térmica.



Fonte: Rabello, 2023.

Ainda podem ser classificados por:

- ❖ Origem: Natural ou sintético.
- ❖ Arranjo tático: isotáticos, sindiotáticos, atáticos, cis-trans.

2.4 Interação entre polímeros e partículas coloidais

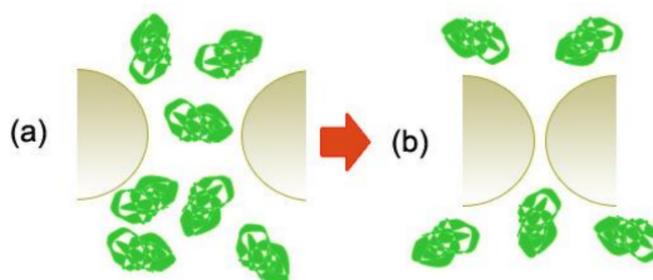
Fundamentado em Almeida (2018), Santos (2014), Motta (2018), Delavi (2011) e Ortega *et al.* (1997), a partir da presença de polieletrólitos que apresentam grupos ionizáveis repetidos (polímeros condutores iônicos) em uma suspensão coloidal, podemos experimentar alguns mecanismos de interações polímero-partículas que afetam a forma como as partículas se manifestam no sistema e a sua estabilidade.

Sistemas que envolvem interações polímero-partículas geralmente se dão por:

- Repulsão estérica por adsorção dos polímeros: Onde os polímeros se adsorvem na superfície das partículas, criando uma camada protetora ao redor delas repelindo estericamente devido a proximidade das cadeias poliméricas, impedindo que se aproximem o suficiente para entrarem no campo de atuação das forças de van der Waals, dessa forma o sistema se estabiliza (Ortega *et al.*, 1997).

- Efeito de depleção: Os polímeros não se adsorvem às superfícies das partículas, se mantém livre em solução. Conforme as partículas vão se aproximando, a concentração do líquido entre elas diminui e o polímero se afasta da área entre as partículas, o que faz com que ocorra uma atração efetiva entre elas e logo floculação (Santos, 2014). Como é demonstrado na Figura 18.

Figura 18 - Polímeros em dissolução. a) estabilização por depleção, b) o polímero é afastado da área entre as partículas pela aproximação e atração das mesmas, ocorrendo floculação por depleção.

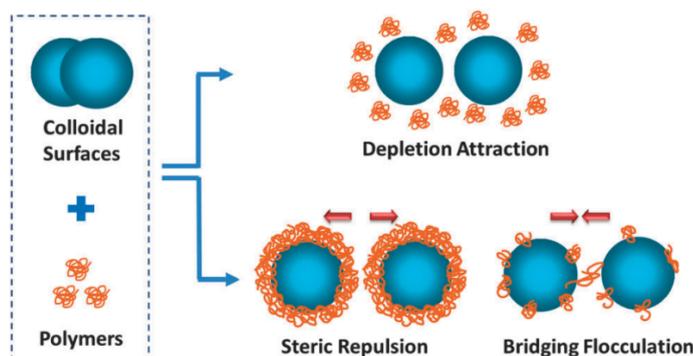


Fonte: Santos, 2014.

- Floculação em ponte: alguns polímeros podem formar ligações cruzadas entre partículas adjacentes, criando uma rede tridimensional que interliga as partículas. Isso resulta em uma estrutura gelatinosa que mantém as partículas ligadas e impede sua aglomeração. Essa ligação por pontes de polímeros aumenta a viscosidade do sistema e pode levar à formação de géis (Santos, 2014; Delavi, 2011; Ortega *et al.*, 1997).

A Figura 19 demonstra como funcionam as três interações descritas anteriormente, com a adsorção ou não-adsorção dos polímeros às superfícies das partículas, a interação pode se dar por atração por depleção, repulsão estérica ou floculação em ponte.

Figura 19 - Interações induzidas por polímeros entre superfícies coloidais.



Fonte: Gong, Wang e Ngai, 2014.

Como explica Senisse (2012), na presença de eletrólitos as partículas coloidais podem se agregar e formar coágulos, enquanto na presença de polieletrólitos podem formar flóculos menos densos na qual podem se quebrar facilmente por agitação (cisalhamento).

A interação com o solvente e uma maior solubilidade do polímero no mesmo, favorece a estabilidade, e o tamanho das cadeias poliméricas afetam as interações, no qual cadeias mais longas têm mais eficácia na criação de barreiras contra aglomeração das partículas. Uma concentração adequada de polímeros no sistema também pode estabilizá-lo com eficiência, pela adsorção neutra que ocorre, mas em contrapartida uma concentração em excesso de polímeros pode vir a facilitar a atração entre as partículas, afetando o potencial zeta, devido às forças de van der Waals estarem mais fortes que as forças repulsivas, criando aglomerados (Tuinier *et al.*, 2003; Gong; Wang e Ngai, 2014; García *et al.*, 2019).

3 METODOLOGIA

Essa pesquisa consistiu em um referencial teórico sobre interações polímero-partículas em solução, com base, conceito de dispersão, classificações das dispersões coloidais, estabilidade coloidal, dupla camada elétrica, potencial zeta, teoria DLVO, classificação dos polímeros e interação entre polímeros e partículas coloidais. Os textos bibliográficos foram compilados a partir de periódicos científicos, livros especializados, dissertações, teses, artigos de revistas e jornais, monografias e trabalhos científicos apresentados em congressos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As interações entre polímero e partículas coloidais podem ocorrer de formas diferentes dependendo das características tanto do polímero, quanto do sistema coloidal a qual foi adicionado. Para a estabilidade coloidal acontecer temos que entender as principais interações e ligações existentes entre a partícula-partícula, e polímero-partícula. Que vêm a ser: forças repulsivas e atrativas que determinam a dupla camada elétrica do sistema. Essas forças determinam as propriedades e características que o sistema vai apresentar, incluindo a sua estabilidade. Um fator importante nessa estabilização são os polímeros, que quando presentes, podem mudar os parâmetros daquele sistema. Existem três tipos de mecanismos que podem atuar entre polímeros-partículas, repulsão estérica, efeito de depleção e flocculação em ponte. É necessário conhecer bem todos os mecanismos que envolvem partículas-partículas e polímero-partículas antes de qualquer atuação com sistemas reais na indústria, pois todos os fatores relacionados são importantes para alcançar as propriedades desejadas do produto que se quer obter. É importante escolher bem o tipo de polímero que melhor atende a necessidade de aplicação que se queira, pois é o principal fator que vai influenciar nas interações das dispersões coloidais.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Ana Zélia Falcão. **CARACTERIZAÇÃO DE BENTONITA SÓDICA E SEU COMPORTAMENTO COLOIDAL NA PRESENÇA DE POLIFOSFATO**. 2018. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande - PB, 2018.

BOTARI, Alexandre et al. Análise e modelação matemática da interação entre partículas na filtração direta utilizando a teoria coloidal. **Eng Sanit Ambient**, Umuarama - Pr, v. 17, n. 1, p. 81-94, jan. 2012. Bimestral.

CANEVAROLO JUNIOR, Sebastião V.. **CIÊNCIA DOS POLÍMEROS**: um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 3. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2010. 106 p.

CARVALHO, André Luiz da Silva et al. **FENÔMENOS DE SUPERFÍCIE E ELETROQUÍMICA**: sistemas coloidais: características, obtenção e propriedades cinéticas. 2019. 31 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia, Universidade de São Paulo, Lorena - Sp, 2019.

COSGROVE, Terence (ed.). **Colloid Science Principles, Methods and Applications**. UK: Blackwell Publishing, 2005. 288 p.

CRUZ, Robinson Carlos Dudley. **COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE SUSPENSÕES DE MISTURAS DE PÓS CERÂMICOS**. 1996. 114 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

DELAVI, Deyse Gonzaga Gomes. **DEFLOCULAÇÃO DE SUSPENSÕES AQUOSAS DE ARGILA E SUA CORRELAÇÃO COM CARACTERIZAÇÕES QUÍMICAS E DE SUPERFÍCIE**. 2011. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

GARCÍA, Álvaro González et al. Polymer-mediated colloidal stability: on the transition between adsorption and depletion. **Elsevier: Advances in Colloid and Interface Science**. p. 1-12. 18 nov. 2019.

GONG, Xiangjun; WANG, Zhaohui; NGAI, To. Direct Measurements of Particle-Surface Interactions in Aqueous Solutions with Total Internal Reflection Microscopy. **The Royal Society Of Chemistry**, Chemical Communications, 50, p. 6556-6570, 2014.

GOUVÊA, Douglas; MURAD, Barakat. Influência das características ácido-básicas da superfície dos óxidos na estabilidade de suspensões cerâmicas de Al₂O₃ ou SnO₂ com dispersantes comerciais. **Cerâmica**, São Paulo, v. 47, n. 301, p. 51-56, 2001. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/262752290>. Acesso em: 15 jul. 2023.

HIEMENZ, Paul C.; RAJAGOPALAN, Raj. **Principles of Colloid and Surface Chemistry**. 3. ed. New York: Marcel Dekker, Inc., 1997. 650 p.

HOTZA, Dachamir. ARTIGO REVISÃO: Colagem de Folhas Cerâmicas. **Cerâmica**, Hamburg, v. 43, n. 7, p. 157-164, dez. 1997.

HUNTER, Robert J.. **Foundations of Colloid Science**. 2. ed. New York - USA: Oxford University Press Inc., 2001. 765 p.

JAFELICCI JUNIOR, Miguel; VARANDA, Laudemir Carlos. O mundo dos colóides. **Química Nova na Escola: Química e Sociedade**, [s. l], n. 9, p. 9-13, maio 1999. Trimestral. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc09/quimsoc.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2023.

MOTTA, Rayssa Jossanea Brasileiro. **Avaliação do papel estabilizante /desestabilizante de polifosfatos em dispersões coloidais de argilas**. 2018. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Programa de Pós-Graduação, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2018.

OLIVEIRA, Ana Paula Almeida de; TOREM, Mauricio Leonardo. ASPECTOS FUNDAMENTAIS DO COMPORTAMENTO DE COLÓIDES EM SUSPENSÕES - ESTUDO DE CASOS. In: XVII ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA, 17., 1998, Águas de São Pedro, Sp. **Anais [...]**. Águas de São Pedro, 1998. p. 607-625.

ORTEGA, F. S. et al. Aspectos da reologia e da estabilidade de suspensões cerâmicas: parte ii: mecanismos de estabilidade eletrostática e estérica. **Cerâmica**, [s. l], v. 43, n. 280, p. 77-83, abr. 1997.

RABELLO, Marcelo Silveira. **Estrutura e Propriedades de Polímeros**. 2. ed. Campina Grande, Paraíba: Ed. do Autor, 2023. 338 p.

RODRIGUES, Marciele Gomes et al. Classificação, composição e superfícies dos colóides no cotidiano. **Scientia Naturalis**, Rio Branco - Ac, v. 2, n. 1, p. 443-454, 07 maio 2020. Semestral. Disponível em: <https://periodicos.ufac.br/index.php/SciNat/article/view/3436>. Acesso em: 15 jul. 2023.

RUBINSTEIN, Michael; COLBY, Ralph H.. **Polymer Physics**. USA: Oxford University Press, 2003. 454 p.

SANTOS, Silas Cardoso dos. **Desenvolvimento de queimadores para iluminação a gás à base de silicato de terras raras**. 2014. 152 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

SCHAFFAZICK, Scheila Rezende et al. CARACTERIZAÇÃO E ESTABILIDADE FÍSICO-QUÍMICA DE SISTEMAS POLIMÉRICOS NANOPARTICULADOS PARA ADMINISTRAÇÃO DE FÁRMACOS. **Química Nova**, Porto Alegre - RS, v. 26, n. 5, p. 726-737, 27 fev. 2003.

SENISSE, Carolina Alves de Lima. **Obtenção do óxido de cério a partir de solução coloidal (gel casting) e caracterização de sua microestrutura e atividade catalítica na combustão do metano**. 2012. 61 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Escola de Engenharia, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - Rs, 2012.

SHAW, Duncan J.. **INTRODUÇÃO À QUÍMICA DOS COLÓIDES E DE SUPERFÍCIES**. São Paulo - Sp: Edgard Blücher Ltda., 1975. 185 p. Tradução de: JUERGEN HEINRICH MAAR.

TREFALT, Gregor, BORKOVEC, Michal. **Overview of DLVO Theory**. 2014.

TUINIER, R. et al. Depletion-induced phase separation in colloid– polymer mixtures. **Elsevier: Advances in Colloid and Interface Science**, [s. l], v. 103, n. 2003, p. 1-31, 2003.