



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
PIAUÍ CAMPUS PICOS - PI
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA**

YARLA CRISTINA SILVA NASCIMENTO

**ANÁLISE BIOQUÍMICA E ESTRUTURAL DOS MECANISMOS MOLECULARES
DE SINALIZAÇÃO DE NEUROTRANSMISSORES E HORMÔNIOS: REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA**

PICOS - PI

2026

YARLA CRISTINA SILVA NASCIMENTO

ANÁLISE BIOQUÍMICA E ESTRUTURAL DOS MECANISMOS MOLECULARES DE
SINALIZAÇÃO DE NEUROTRANSMISSORES E HORMÔNIOS: REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA

Monografia apresentada como exigência
para aprovação na disciplina Trabalho de
Conclusão de Curso do Curso de Química
do Instituto Federal de Educação, Ciência
e Tecnologia do Piauí, Campus Picos - PI
Orientador: Prof. Dr Luiz Brito de Souza
Filho

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Nascimento, Yarla Cristina Silva

N244a Análise bioquímica e estrutural dos mecanismos moleculares de sinalização de neurotransmissores e hormônios : revisão bibliográfica / Yarla Cristina Silva Nascimento. - 2026.
44 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Picos, 2026.
Orientador : Prof Dr. Luiz Brito de Souza Filho.

1. Comunicação celular. 2. Neurotransmissores. 3. Receptores celulares. 4. Transdução de sinal. I. Título.

CDD - 540

Elaborado por Silvio de Carvalho Gomes Coutinho CRB 3/1362

YARLA CRISTINA SILVA NASCIMENTO

ANÁLISE BIOQUÍMICA E ESTRUTURAL DOS MECANISMOS MOLECULARES DE
SINALIZAÇÃO DE NEUROTRANSMISSORES E HORMÔNIOS: REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA

Monografia apresentada como exigência
para aprovação na disciplina Trabalho de
Conclusão de Curso do Curso de Química
do Instituto Federal de Educação, Ciência
e Tecnologia do Piauí, Campus Picos - PI

Aprovada em: ____ / ____ / ____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luiz Brito de Souza Filho (Orientador)
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Me. Antoniel Silva
Universidade Federal do Piauí (UFPI)

Prof. Esp. Maioneide Madalena de Jesus
SEDUC (PI)

RESUMO

A comunicação celular constitui um processo essencial para a manutenção da homeostase e para a coordenação das funções fisiológicas dos organismos, sendo mediada principalmente pela ação de neurotransmissores e hormônios que interagem com receptores celulares específicos. Nesse contexto, o presente estudo teve como problema de pesquisa investigar de que forma a estrutura molecular dos componentes envolvidos na sinalização de neurotransmissores e hormônios influencia os mecanismos bioquímicos responsáveis pela transdução e amplificação do sinal celular. O objetivo geral foi analisar, por meio de uma revisão integrativa da literatura, a influência da estrutura molecular de neurotransmissores, hormônios e seus receptores na transdução e amplificação do sinal celular, evidenciando a relação entre suas características estruturais e os processos de comunicação intracelular. A pesquisa caracteriza-se como bibliográfica, de abordagem qualitativa e natureza descritiva, desenvolvida a partir de artigos científicos publicados entre 2016 e 2026, obtidos nas bases Google Acadêmico e Periódicos CAPES. Inicialmente foram identificados 91 estudos e, após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, 13 artigos compuseram a amostra final. Os resultados demonstraram que a estrutura molecular dos ligantes e dos receptores determina a especificidade do reconhecimento molecular, a ativação de proteínas sinalizadoras e a formação de segundos mensageiros, como AMPc, IP3 e DAG, responsáveis pela amplificação do sinal celular. Também foi evidenciado que alterações nesses mecanismos estão relacionadas ao desenvolvimento de diversas patologias e que a compreensão da relação entre estrutura e função molecular contribui para o desenvolvimento de fármacos mais seletivos e eficazes. Conclui-se que a organização estrutural de neurotransmissores, hormônios e receptores exerce influência direta sobre os mecanismos bioquímicos da comunicação celular, confirmando a importância desse conhecimento para os avanços da Bioquímica, da Biologia Molecular e da Química Medicinal.

Palavras-chave: comunicação celular; neurotransmissores; hormônios; receptores celulares; transdução de sinal; proteína G.

ABSTRACT

Cell communication is an essential process for maintaining homeostasis and coordinating the physiological functions of living organisms. It is primarily mediated by neurotransmitters and hormones that interact with specific cellular receptors. In this context, the present study investigated how the molecular structure of the components involved in neurotransmitter and hormone signaling influences the biochemical mechanisms responsible for signal transduction and amplification. The general objective was to analyze, through an integrative literature review, the influence of the molecular structure of neurotransmitters, hormones, and their receptors on signal transduction and amplification, highlighting the relationship between their structural characteristics and intracellular communication processes. This study is characterized as a bibliographic research with a qualitative and descriptive approach, based on scientific articles published between 2016 and 2026, retrieved from Google Scholar and the CAPES Journals Portal. Initially, 91 studies were identified, and after applying the inclusion and exclusion criteria, 13 articles composed the final sample. The results demonstrated that the molecular structure of ligands and receptors determines the specificity of molecular recognition, the activation of signaling proteins, and the production of second messengers, such as cAMP, IP3, and DAG, which are responsible for signal amplification. The findings also showed that alterations in these mechanisms are associated with the development of several diseases and that understanding the relationship between molecular structure and function contributes to the development of more selective and effective drugs. It is concluded that the structural organization of neurotransmitters, hormones, and receptors directly influences the biochemical mechanisms of cell communication, highlighting the importance of this knowledge for advances in Biochemistry, Molecular Biology, and Medicinal Chemistry.

Keywords: cell communication; neurotransmitters; hormones; cellular receptors; signal transduction; G protein.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMPc – Adenosina Monofosfato Cíclico

Ang II – Angiotensina II

Ca²⁺ – Íon Cálcio

DAG – Diacilglicerol

GDP – Guanosina Difosfato

GABA – Ácido Gama-Aminobutírico

GPCRs – Receptores Acoplados à Proteína G

GTP – Guanosina Trifosfato

IGF-1 – Fator de Crescimento Semelhante à Insulina tipo 1

IP3 – Inositol Trifosfato

Periódicos CAPES - Portal de Periódicos da Coordenação de
Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

RTK – Receptores Tirosina Quinase

SEI – Sequência de Ensino Investigativo

SNC – Sistema Nervoso Central

NT - Neurotransmissores

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura esquemática de um receptor acoplado à proteína G (GPCR), evidenciando as sete hélices transmembranares, a ligação do ligante extracelular e a associação com a proteína G heterotrimérica (α , β e γ).	16
Figura 2: Estrutura química da Acetilcolina	18
Figura 3: Estrutura química do ácido gama-aminobutírico (GABA)	20
Figura 4: Transmissão Sináptica Química	20
Figura 5: Estrutura química do glutamato protonado e Forma Fisiológica	22
Figura 6: Estrutura química da Dopamina	23
Figura 7: Estrutura química do Cortisol	24
Figura 8: Estrutura química da Adrenalina	25
Figura 9: Estrutura química da Serotonina	25
Fluxograma 1: Identificação da produção acadêmica e filtragem	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	JUSTIFICATIVA	13
3	OBJETIVOS	14
4	REFERENCIAL TEÓRICO	15
4.1	FUNDAMENTOS DA COMUNICAÇÃO CELULAR SOB A PERSPECTIVA BIOQUÍMICA	15
4.2	NEUROTRANSMISSORES: ESTRUTURA QUÍMICA E MECANISMOS DE AÇÃO SINÁPTICA	17
4.3	HORMÔNIOS: NATUREZA QUÍMICA E MECANISMOS DE SINALIZAÇÃO ENDÓCRINA.	21
4.4	RECEPTORES CELULARES E TRANSDUÇÃO DE SINAL: ABORDAGEM MOLECULAR	26
4.5	RELAÇÃO ESTRUTURA-FUNÇÃO NA SINALIZAÇÃO CELULAR E IMPLICAÇÕES FARMACOLÓGICAS	26
5	METODOLOGIA	28
5.1	MODALIDADE DE PESQUISA	28
5.2	INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS	29
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
	REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

A comunicação celular representa um elemento central para o funcionamento harmônico dos organismos vivos, pois permite a integração e a regulação de processos fisiológicos indispensáveis, como o metabolismo, o crescimento, a diferenciação celular e a transmissão de informações no sistema nervoso. Esse processo ocorre, em grande parte, por meio de mensageiros químicos, entre os quais se destacam os neurotransmissores e os hormônios, responsáveis por transmitir sinais específicos ao interagir com receptores celulares, desencadeando respostas bioquímicas capazes de modular a atividade celular de forma eficiente e controlada (Tavares, 2022).

Os neurotransmissores e os hormônios apresentam diferenças quanto à sua origem, ao modo de ação e ao alcance fisiológico; entretanto, ambos desempenham papel fundamental na manutenção da homeostase do organismo. Enquanto os neurotransmissores atuam predominantemente na comunicação sináptica, promovendo respostas rápidas e localizadas, os hormônios exercem efeitos sistêmicos, geralmente mais lentos e duradouros. Em ambos os casos, a resposta celular depende da especificidade da interação entre o ligante e o seu receptor, o que evidencia a relevância dos mecanismos moleculares envolvidos no reconhecimento e na ativação celular (Su et al., 2024).

No contexto da transdução desses sinais, destacam-se os receptores acoplados à proteína G (GPCRs), considerados uma das mais amplas e diversificadas superfamílias de proteínas de membrana. Esses receptores têm a função de converter estímulos extracelulares, decorrentes da ligação de neurotransmissores ou hormônios, em respostas intracelulares, por meio da ativação de cascatas bioquímicas. Do ponto de vista estrutural, os GPCRs apresentam sete hélices transmembranares, característica que confere elevada versatilidade funcional e explica sua participação em processos fisiológicos como a regulação metabólica, o controle cardiovascular, a sinalização hormonal e a neurotransmissão (Tavares, 2022; Nascimento, 2022).

Além dos receptores acoplados à proteína G (GPCRs), outros sistemas de sinalização celular desempenham papel relevante na mediação das respostas aos neurotransmissores e hormônios, destacando-se os canais iônicos dependentes de

ligante e os receptores intracelulares ou nucleares (Alberts et al., 2023). Esses sistemas diferenciam-se quanto à rapidez da resposta, ao tipo de sinal bioquímico gerado e à duração dos efeitos celulares. Os canais iônicos promovem respostas quase imediatas por meio da alteração do potencial de membrana, enquanto os receptores nucleares regulam a expressão gênica, produzindo efeitos celulares mais duradouros (Lodish et al., 2021). Dessa forma, a organização estrutural dos receptores está diretamente relacionada ao mecanismo de ação e ao tipo de resposta fisiológica desencadeada.

Sob a perspectiva bioquímica e estrutural, a sinalização celular mediada por neurotransmissores e hormônios depende da conformação tridimensional das biomoléculas envolvidas, bem como das interações químicas estabelecidas entre ligantes, receptores e proteínas sinalizadoras intracelulares. Tais interações são determinantes para a ativação de segundos mensageiros, para a amplificação do sinal e para a resposta celular final, o que reforça a importância da análise bioquímica e estrutural na compreensão dos processos de comunicação celular (Sousa et al., 2019).

Nas últimas décadas, os avanços nas áreas da biologia molecular, da bioquímica e da biologia estrutural têm contribuído significativamente para o aprofundamento do conhecimento sobre os mecanismos de sinalização celular, especialmente aqueles mediados por receptores de membrana (Groves; Kuriyan, 2010). Apesar desses avanços, a compreensão integrada entre a estrutura molecular dos receptores, a diversidade química dos neurotransmissores e hormônios e a eficiência da transdução do sinal ainda representa um desafio científico, devido à complexidade das vias intracelulares envolvidas (Tavares, 2022).

Diante desse contexto, o presente estudo tem como problema de pesquisa a seguinte questão: de que forma a estrutura molecular dos componentes envolvidos na sinalização de neurotransmissores e hormônios influencia os mecanismos bioquímicos responsáveis pela transdução e amplificação do sinal celular? A análise dessa relação é fundamental não apenas para o avanço do conhecimento científico na área da bioquímica e da biologia molecular, mas também para aplicações práticas, como o desenvolvimento racional de fármacos e de biomoléculas com potencial terapêutico.

A realização deste estudo justifica-se pela relevância da compreensão dos mecanismos químicos envolvidos na sinalização celular mediada por neurotransmissores e hormônios, uma vez que esses processos dependem diretamente de interações moleculares específicas entre ligantes e receptores. Do ponto de vista da Química, especialmente da bioquímica e da química medicinal, a análise dessas

interações é fundamental para entender como a estrutura molecular influencia a afinidade, a seletividade e a eficácia das respostas biológicas.

Além disso, o aprofundamento desse conhecimento contribui para o desenvolvimento de fármacos mais seletivos e eficientes, uma vez que muitos medicamentos atuam diretamente em receptores de membrana, como os receptores acoplados à proteína G (GPCRs).

Dessa forma, o estudo da relação entre estrutura e função nesses sistemas de sinalização apresenta grande importância científica e tecnológica, com impactos diretos na área farmacêutica e no avanço da Química aplicada às ciências da saúde.

2 JUSTIFICATIVA

A escolha do tema sobre os mecanismos de sinalização de neurotransmissores e hormônios justifica-se pela importância desses processos na regulação das funções celulares e na manutenção da homeostase do organismo. Essas vias de comunicação são fundamentais para o funcionamento dos sistemas nervoso e endócrino, pois permitem a integração e a coordenação das respostas celulares aos diferentes estímulos. Alterações nesses mecanismos de sinalização podem comprometer a homeostase do organismo e estar associadas ao desenvolvimento de diversas patologias, incluindo distúrbios neurológicos, metabólicos e hormonais (Alberts *et al.*, 2023; Guyton; Hall, 2021).

Do ponto de vista acadêmico, o estudo é relevante por contribuir para a compreensão da relação entre estrutura molecular e função biológica, especialmente nos processos de interação entre ligantes e receptores celulares. Esse conhecimento é essencial para o avanço das áreas de bioquímica e biologia molecular.

Além disso, a pesquisa apresenta relevância científica e aplicada, uma vez que o entendimento dos mecanismos de sinalização celular pode subsidiar o desenvolvimento de fármacos mais específicos e eficazes, contribuindo para o aprimoramento de estratégias terapêuticas na área da saúde.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Analisar, por meio de uma revisão da literatura, a influência da estrutura molecular de neurotransmissores, hormônios e seus receptores na transdução e amplificação do sinal celular, evidenciando a relação entre suas características estruturais e os processos de comunicação intracelular.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Descrever os fundamentos da comunicação celular sob a perspectiva bioquímica.
- Analisar a estrutura química e os mecanismos de ação dos neurotransmissores na sinapse.
- Explicar a natureza química e os mecanismos de sinalização dos hormônios.
- Descrever o papel dos receptores celulares na transdução de sinal.
- Relacionar a estrutura molecular dos ligantes e receptores com a resposta celular.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 FUNDAMENTOS DA COMUNICAÇÃO CELULAR SOB A PERSPECTIVA BIOQUÍMICA

A sinalização celular é um processo fundamental para a regulação das funções biológicas, no qual células detectam e respondem a estímulos químicos por meio da interação específica entre ligantes e receptores. Esse processo é altamente seletivo e depende da complementaridade estrutural entre as moléculas envolvidas, permitindo a ativação de respostas celulares coordenadas. Assim, a comunicação celular baseia-se diretamente na relação entre estrutura molecular e função biológica, sendo essencial para a homeostase e para a integração dos sistemas fisiológicos (Nelson; Cox, 2022; Alberts et al., 2017).

Esse mecanismo é essencial para manter o equilíbrio do organismo, conhecido como homeostase, e para garantir que diferentes tecidos funcionem de forma integrada. Do ponto de vista da bioquímica, essa comunicação acontece por meio de interações entre moléculas específicas, principalmente entre ligantes e receptores (Silva; Dias, 2022). Segundo Nelson e Cox (2022), a sinalização celular depende da capacidade dessas moléculas se reconhecerem de forma precisa, como uma chave que se encaixa em uma fechadura.

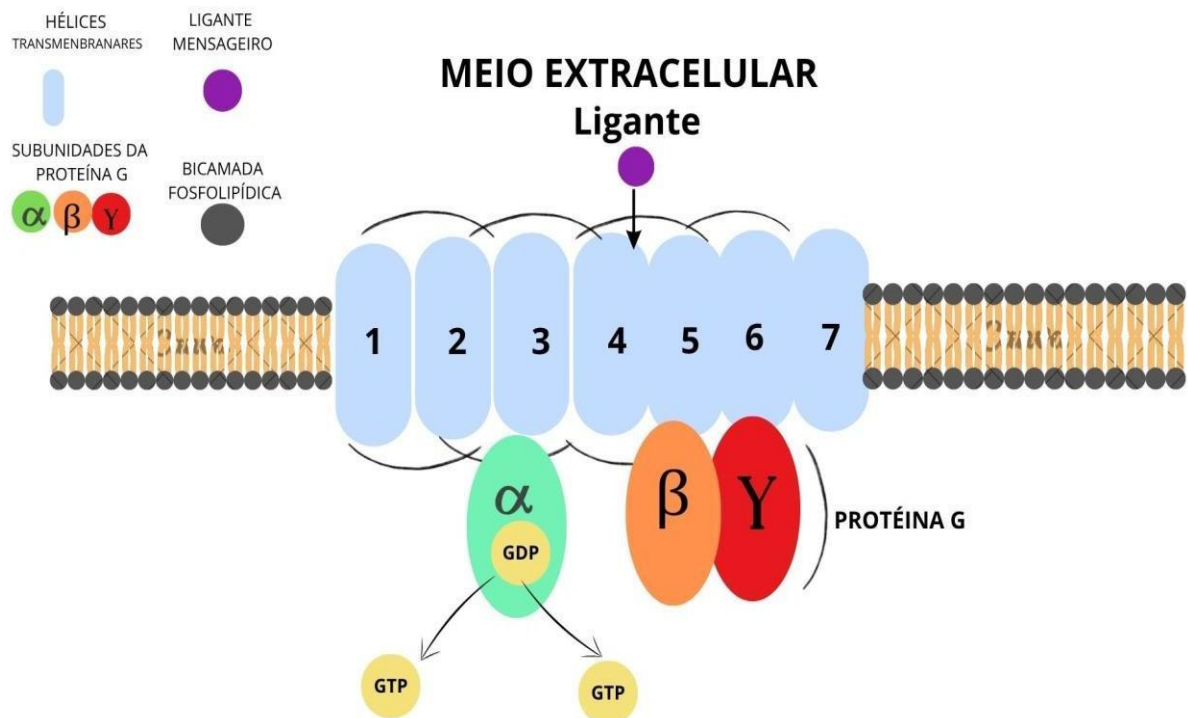
Os ligantes são as moléculas que iniciam esse processo. Eles podem ser neurotransmissores ou hormônios, por exemplo. Os neurotransmissores, como a acetilcolina e o glutamato, atuam principalmente nas sinapses e têm ação rápida e localizada. Já os hormônios, como a insulina, a adrenalina e o cortisol, são transportados pelo sangue e podem agir em órgãos distantes do local onde foram produzidos. De acordo com Nelson e Cox (2022), a resposta da célula depende do tipo de ligante e do receptor presente na célula-alvo.

Quando o ligante se liga ao receptor, ocorre uma mudança na estrutura do receptor, iniciando a chamada transdução de sinal. Esse processo transforma um sinal externo em uma resposta interna. Entre os principais receptores estão os receptores acoplados à proteína G (GPCRs), que representam uma grande parte dos receptores do corpo humano. Conforme explicam Andricopulo et al. (2012), esses receptores ativam proteínas internas por meio da troca de GDP por GTP, dando continuidade ao

sinal.

Outro grupo importante são os receptores tirosina quinase, que, segundo Gomes (2013), se ativam quando se unem em pares (dimerização) e passam por um processo de autofosforilação, iniciando novas etapas da sinalização.

Figura 1: Estrutura esquemática de um receptor acoplado à proteína G (GPCR), evidenciando as sete hélices transmembranares, a ligação do ligante extracelular e a associação com a proteína G heterotrimérica (α , β e γ).



Fonte: Elaborado pelo autor, (2026).

A transdução de sinal ocorre quando a ligação de um ligante ao receptor desencadeia uma alteração conformacional na proteína, ativando vias intracelulares específicas. Nos receptores acoplados à proteína G (GPCRs), essa ligação promove a troca de GDP por GTP na subunidade alfa da proteína G, levando à ativação de enzimas como adenilato ciclase e fosfolipase C, responsáveis pela produção de segundos mensageiros como AMP cíclico (AMPc), IP3 e DAG (Alberts *et al.*, 2017; Lodish *et al.*, 2021).

Nos receptores tirosina quinase (RTKs), a ligação do ligante induz dimerização do receptor e autofosforilação de resíduos de tirosina, criando sítios de ligação para proteínas sinalizadoras intracelulares, o que inicia cascatas de fosforilação que

amplificam o sinal celular (Alberts *et al.*, 2017).

Após essa ativação, o sinal é transmitido dentro da célula por meio de moléculas chamadas segundos mensageiros, como o AMP cíclico (AMPc), o IP3, o DAG e o cálcio (Ca^{2+}). Essas moléculas ajudam a ampliar o sinal recebido, garantindo que a resposta celular seja eficiente. Teixeira (2014) destaca que esse processo envolve várias reações em sequência, conhecidas como cascatas de sinalização, que regulam funções como crescimento celular, metabolismo e expressão gênica.

No Brasil, pesquisas recentes têm contribuído para entender melhor esses mecanismos, principalmente em doenças como o câncer. Mota (2021) mostrou que alterações em determinadas vias de sinalização podem influenciar o desenvolvimento de tumores, enquanto Pierozan (2014) discutiu a relação entre o citoesqueleto e as vias de sinalização em processos celulares. Esses estudos reforçam que compreender a base bioquímica da comunicação celular é fundamental para o avanço de novos tratamentos.

Verifica-se que a especificidade da sinalização celular depende diretamente da interação entre estrutura molecular e função biológica, uma vez que a ligação ligante-receptor é determinada por forças intermoleculares e complementaridade estrutural (Alberts *et al.*, 2017).

Assim, a comunicação celular pode ser entendida como um sistema organizado e preciso, no qual diferentes moléculas atuam juntas para garantir que as células respondam corretamente aos estímulos recebidos.

4.2 NEUROTRANSMISSORES: ESTRUTURA QUÍMICA E MECANISMOS DE AÇÃO SINÁPTICA

Os neurotransmissores são substâncias químicas responsáveis pela comunicação entre neurônios, permitindo a transmissão de sinais nas sinapses e a integração das funções do sistema nervoso central. Essa comunicação é essencial para processos como percepção, movimento, emoções e cognição (Oliveira; Tavares, 2019). Nesse sentido, compreende-se que a neurotransmissão constitui a base da atividade neural e do funcionamento cerebral.

Segundo Oliveira e Tavares (2019, p. 3), eles atuam como mensageiros químicos essenciais na transmissão sináptica”, evidenciando sua importância para a comunicação neuronal. Dessa forma, qualquer alteração na produção, liberação ou

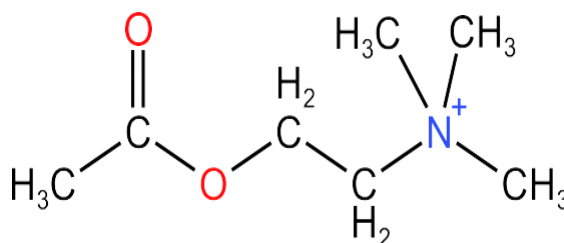
recepção dessas substâncias pode comprometer o equilíbrio funcional do sistema nervoso.

Assim, os neurotransmissores podem ser classificados de acordo com sua estrutura química em aminoácidos, aminas biogênicas, ésteres de colina e neuropeptídeos, sendo essa classificação fundamental para compreender seus diferentes mecanismos de ação, formas de síntese, armazenamento, liberação e efeitos fisiológicos (Souza; Farina; Rocha, 2019). Essa diversidade estrutural influencia diretamente a interação com receptores específicos e a modulação das respostas celulares.

A acetilcolina é um neurotransmissor pertencente ao grupo dos ésteres de colina e desempenha papel fundamental na transmissão sináptica, especialmente nas junções neuromusculares e no sistema nervoso autônomo. Sua estrutura química apresenta um grupamento éster e um grupo amônio quaternário, responsável pela carga positiva permanente da molécula, características que favorecem sua interação com receptores colinérgicos nicotínicos e muscarínicos (Brunton; Hilal-Dandan; Knollmann, 2023).

A estrutura química da acetilcolina ($C_7H_{16}NO_2^+$) evidencia que essa molécula é um éster de colina, formado pela ligação entre a colina e o ácido acético. Observa-se a presença do grupamento éster e do grupo amônio quaternário, que confere carga positiva permanente ao átomo de nitrogênio. Essas características estruturais são fundamentais para sua interação com os receptores nicotínicos e muscarínicos e para sua atuação na transmissão dos impulsos nervosos (Brunton; Hilal-Dandan; Knollmann, 2023). Conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Estrutura química da Acetilcolina



Elaborado pela própria autora (2026).

A estrutura química da acetilcolina ($C_7H_{16}NO_2^+$) evidencia a presença de um grupamento éster e de um grupo amônio quaternário, responsável por uma carga positiva permanente na molécula. Essa carga favorece interações eletrostáticas e interações do tipo cátion- π com resíduos de aminoácidos aromáticos, como triptofano e tirosina, presentes no sítio de ligação dos receptores colinérgicos. Essas interações contribuem para o reconhecimento molecular, a ligação específica da acetilcolina ao receptor e o desencadeamento da resposta biológica, sendo fundamentais para a transmissão do impulso nervoso (Brunton; Hilal-Dandan; Knollmann, 2023; Nelson; Cox, 2022).

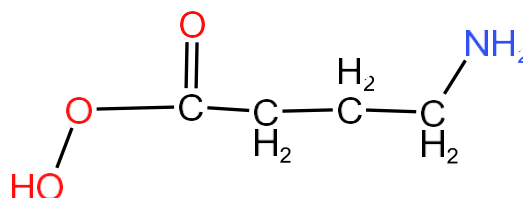
A transmissão sináptica refere-se à propagação dos impulsos nervosos de uma célula nervosa a outra, ocorrendo nas sinapses, onde o axônio do neurônio pré-sináptico estabelece contato funcional com o neurônio pós-sináptico (Macedo, 2012, p. 18).

O funcionamento adequado do sistema nervoso central depende do equilíbrio entre neurotransmissores excitatórios e inibitórios. O glutamato é o principal neurotransmissor excitatório, enquanto o ácido gama-aminobutírico (GABA) exerce função inibitória, regulando a atividade neuronal e prevenindo hiperexcitabilidade (Ferreira; Souza, 2021). Esse equilíbrio é essencial para a estabilidade das redes neurais e para a prevenção de distúrbios neurológicos. Ferreira e Souza (2021, p. 50) afirmam que “o equilíbrio entre glutamato e GABA é crucial para a estabilidade da atividade neuronal”. Dessa forma, alterações nesse balanço podem estar associadas a condições como epilepsia, ansiedade e transtornos neuropsiquiátricos.

O ácido gama-aminobutírico apresenta uma cadeia de quatro carbonos com um grupo amino ($-NH_2$) e um grupo carboxila ($-COOH$), características estruturais que determinam sua função inibitória no sistema nervoso central. Sua organização molecular permite a ligação a receptores específicos, promovendo a redução da excitabilidade neuronal e contribuindo para o equilíbrio da atividade sináptica.

A Figura 3 representa a estrutura química do ácido gama-aminobutírico (GABA; $C_4H_9NO_2$). A figura destaca a presença dos grupos carboxila ($-COOH$) e amino ($-NH_2$), sendo este último ligado ao carbono gama (γ), correspondente ao quarto carbono da cadeia carbônica. Essa característica estrutural é responsável pela nomenclatura da molécula e está diretamente relacionada à sua atividade biológica.

Figura 3: Estrutura química do ácido gama-aminobutírico (GABA)



Fonte: Elaborado pela própria autora (2026).

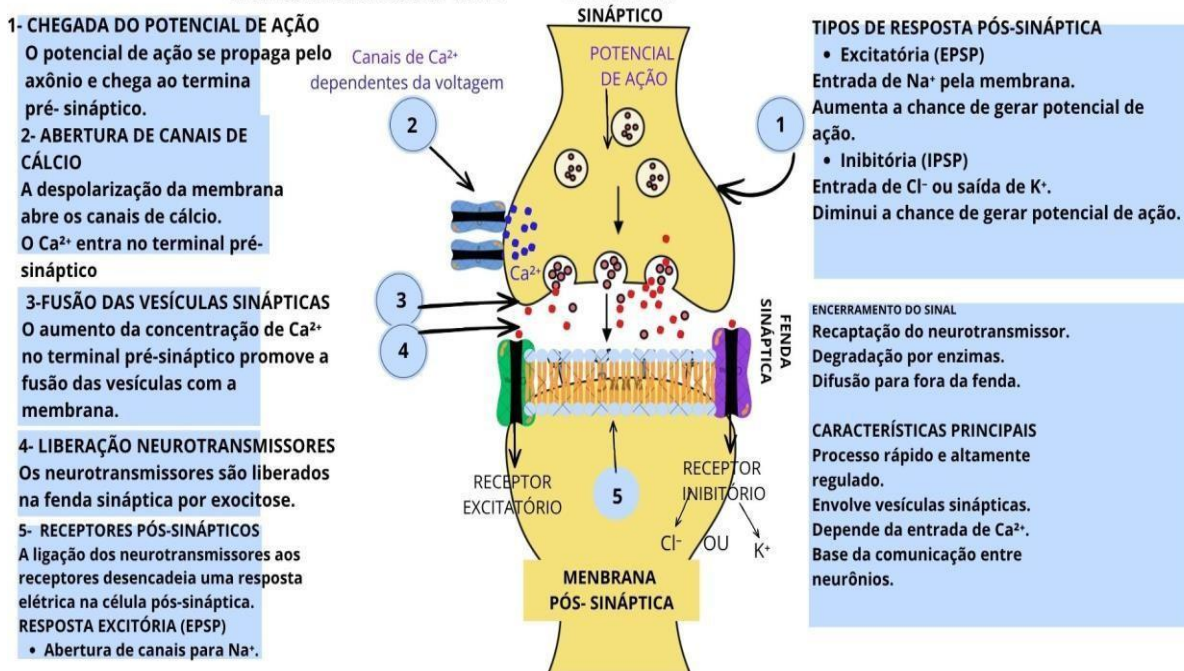
Em condições de pH fisiológico (aproximadamente 7,4), as propriedades físico-químicas das moléculas influenciam diretamente sua interação com receptores e sua distribuição nos tecidos. O ácido gama-aminobutírico (GABA) apresenta-se predominantemente na forma zwitteriônica, possuindo simultaneamente um grupo amino protonado (NH_3^+) e um grupo carboxilato desprotonado (COO^-), o que resulta em carga líquida próxima de zero (Brunton; Hilal-Dandan; Knollmann, 2023). Essa característica reduz sua difusão passiva através das membranas biológicas, tornando necessário o uso de transportadores específicos.

Por outro lado, a acetilcolina possui um grupo amônio quaternário, que permanece permanentemente carregado positivamente, independentemente do pH fisiológico. Essa carga limita sua passagem pela bicamada lipídica, restringindo sua ação aos locais de liberação e justificando sua rápida degradação pela enzima acetilcolinesterase (Brunton; Hilal-Dandan; Knollmann, 2023).

A transmissão sináptica química ocorre quando o potencial de ação atinge o terminal pré-sináptico, promovendo a liberação de neurotransmissores na fenda sináptica. Essas substâncias ligam-se a receptores específicos na membrana pós-sináptica, desencadeando respostas excitatórias ou inibitórias (Gomes; Guimarães, 2020). Esse processo envolve eventos eletroquímicos altamente regulados, incluindo a entrada de cálcio e a fusão de vesículas sinápticas.

Figura 4: Transmissão Sináptica Química

TRANSMISSÃO SINÁPTICA QUÍMICA



Fonte: Elaborado pela própria autora (2026).

A plasticidade sináptica refere-se à capacidade das sinapses de se fortalecerem ou enfraquecerem ao longo do tempo, sendo um mecanismo fundamental para aprendizagem e memória. Esse processo depende da ação moduladora dos neurotransmissores e da ativação de receptores específicos que promovem alterações estruturais e funcionais nas conexões neurais (Moraes; Pereira, 2020). Ainda assim, os autores Moraes e Pereira (2020, p. 4) destacam que “a modulação sináptica é fundamental para os processos de memória e aprendizado”. Dessa forma, a plasticidade neural permite a adaptação do sistema nervoso às experiências e ao ambiente, constituindo a base biológica da aquisição de novos conhecimentos.

4.3 HORMÔNIOS: NATUREZA QUÍMICA E MECANISMOS DE SINALIZAÇÃO ENDÓCRINA

Os hormônios são substâncias químicas produzidas por glândulas endócrinas e liberadas na corrente sanguínea, responsáveis por regular diversas funções fisiológicas por meio da interação com receptores específicos nas células-alvo. Sua natureza química pode ser classificada em hormônios peptídicos, esteroides e

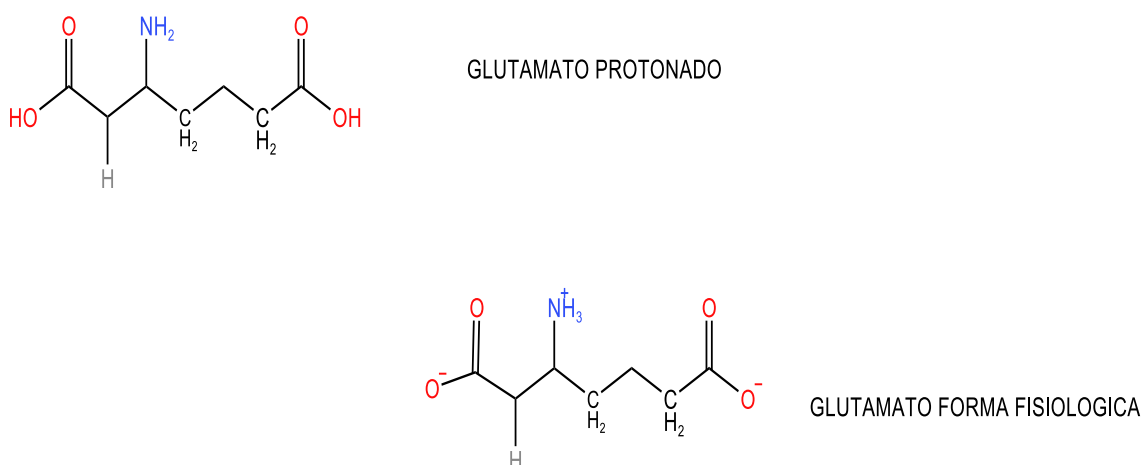
derivados de aminoácidos, sendo que essa característica determina o tipo de receptor ativado e o mecanismo de ação envolvido (Mota, 2021).

De acordo com Takano, Senger e Barreto-Chaves (2020), diferentes fatores endócrinos, como hormônios tireoidianos, insulina, IGF-1 e angiotensina II, desempenham papel importante na modulação de vias de sinalização celular, especialmente em processos como a hipertrofia cardíaca. As autoras destacam que esses hormônios ativam cascatas intracelulares complexas, capazes de promover alterações estruturais e funcionais nas células.

Além disso, a comunicação química também é essencial no sistema nervoso central. Conforme Monteiro (2024), há mais de cinquenta substâncias que atuam como transmissores sinápticos, sendo responsáveis pela integração e condução de informações no sistema nervoso. A autora ressalta que o equilíbrio dessas substâncias é fundamental para o funcionamento adequado do sistema nervoso e que alterações nesse equilíbrio podem estar associadas a transtornos psicopatológicos.

O glutamato é um dos principais aminoácidos envolvidos na comunicação química do sistema nervoso central e corresponde à forma ionizada do ácido glutâmico. Do ponto de vista químico, apresenta grupos funcionais capazes de sofrer protonação e desprotonação, principalmente os grupos carboxila e amino. Dessa forma, sua estrutura pode ser representada em diferentes estados de protonação, dependendo das condições do meio. A representação do glutamato em sua forma protonada é apresentada na Figura 5.

Figura 5 – Estrutura química do glutamato protonado e Forma Fisiológica



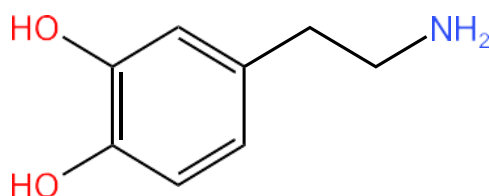
Fonte: Elaborado pela própria autora (2026).

Na forma protonada, o glutamato apresenta seus grupos carboxílicos predominantemente na forma não ionizada, enquanto o grupo amino encontra-se protonado. A possibilidade de transferência de prótons entre esses grupos está relacionada às propriedades ácido-base dos aminoácidos. Segundo Nelson e Cox (2021), os aminoácidos apresentam grupos ionizáveis cuja carga elétrica varia de acordo com o pH do meio, sendo essa característica fundamental para compreender seu comportamento químico e biológico.

Em condições fisiológicas, entretanto, o glutamato encontra-se predominantemente na forma ionizada. Nessa condição, o grupo amino permanece protonado, enquanto os grupos carboxila encontram-se predominantemente desprotonados, conferindo à molécula uma distribuição característica de cargas.

A dopamina é um neurotransmissor pertencente ao grupo das catecolaminas, sintetizado a partir do aminoácido tirosina por meio da formação da L-DOPA como composto intermediário. Sua molécula possui fórmula química $C_8H_{11}NO_2$ e apresenta uma estrutura composta por um anel catecol (anel benzênico com duas hidroxilas) ligado a uma cadeia etilamina. Essa organização estrutural é responsável por suas propriedades químicas e pela capacidade de interação com receptores específicos presentes em diferentes tecidos do organismo (Mota, 2021). Essa forma é importante para sua atuação como neurotransmissor no sistema nervoso central e pode ser observada na Figura 6.

Figura 6: Estrutura química da Dopamina



Fonte: Elaborado pela própria autora (2026).

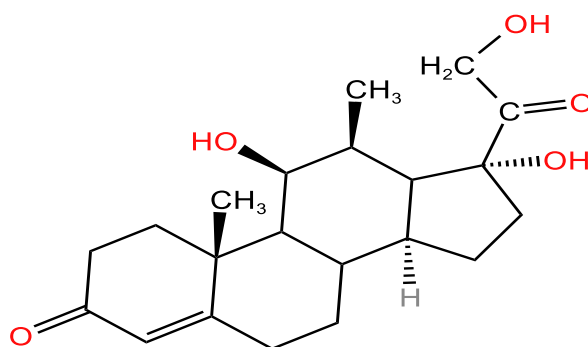
A estrutura química da dopamina permite sua ligação aos receptores dopaminérgicos (D1 a D5), desencadeando processos de sinalização celular relacionados ao controle dos movimentos, da motivação, da memória, da aprendizagem e das emoções. Além disso, esse neurotransmissor desempenha papel

fundamental no sistema nervoso central, sendo que alterações em sua síntese, liberação ou degradação podem contribuir para o desenvolvimento de doenças neurológicas e psiquiátricas, como a doença de Parkinson e a esquizofrenia (Monteiro, 2024).

Assim, tanto no sistema endócrino quanto no sistema nervoso, a sinalização química depende da interação específica entre moléculas sinalizadoras e receptores celulares, sendo esse processo essencial para a manutenção da homeostase.

O cortisol é um hormônio esteroide produzido pelo córtex das glândulas suprarrenais e apresenta estrutura química derivada do colesterol. Por ser uma molécula predominantemente lipossolúvel, consegue atravessar a membrana plasmática e interagir com receptores intracelulares. Sua estrutura molecular apresenta diferentes grupos funcionais que contribuem para suas propriedades químicas e biológicas. A representação da molécula de cortisol é apresentada na Figura 7.

Figura 7: Estrutura química do Cortisol



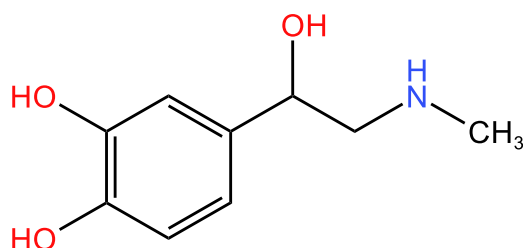
Fonte: Elaborado pela própria autora (2026).

Na Figura 7, observa-se a estrutura esteroidal característica do cortisol, formada por um sistema de anéis carbônicos fundidos e diferentes grupos funcionais contendo oxigênio. De acordo com Mota (2021), os hormônios esteroides apresentam natureza lipossolúvel e exercem seus efeitos principalmente por meio de receptores intracelulares, podendo influenciar a expressão de determinados genes. O cortisol está relacionado à resposta do organismo ao estresse e também participa da regulação do metabolismo e de processos relacionados à resposta inflamatória.

A adrenalina é uma molécula pertencente ao grupo das catecolaminas e apresenta relação estrutural com a dopamina. Sua estrutura contém um anel

aromático com grupos hidroxila e uma cadeia lateral nitrogenada. Diferentemente dos hormônios esteroides, as catecolaminas apresentam caráter hidrossolúvel e atuam principalmente por meio de receptores localizados na membrana das células-alvo. A estrutura molecular da adrenalina pode ser observada na Figura 8.

Figura 8: Estrutura química da Adrenalina

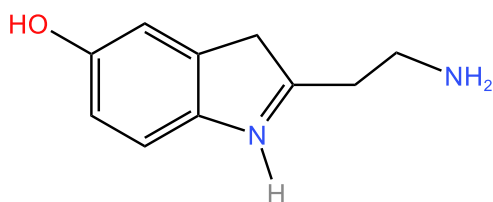


Fonte: Elaborado pela própria autora (2026).

A Figura 8 evidencia os principais grupos funcionais presentes na molécula de adrenalina, especialmente as hidroxilas ligadas ao anel aromático e a função amina presente na cadeia lateral. Segundo Mota (2021), as características estruturais das catecolaminas estão relacionadas à sua interação com receptores específicos e à ativação de mecanismos de sinalização celular. A adrenalina participa da resposta fisiológica de emergência, promovendo alterações como aumento da frequência cardíaca e mobilização de energia.

A serotonina é uma monoamina biologicamente ativa sintetizada a partir do aminoácido triptofano. Sua estrutura apresenta um sistema de anéis contendo nitrogênio e uma cadeia lateral com grupo amina. Essas características permitem sua classificação entre as aminas biogênicas e estão relacionadas à sua interação com diferentes receptores serotoninérgicos. A estrutura molecular da serotonina está representada na Figura 9.

Figura 9: Estrutura química da Serotonina



Fonte: Elaborado pela própria autora (2026).

Na Figura 9, é possível observar a estrutura química característica da serotonina, com destaque para o sistema de anéis e os grupos funcionais responsáveis por suas propriedades moleculares. Conforme Monteiro (2024), a serotonina exerce importante função como neurotransmissor e participa da regulação de processos fisiológicos relacionados ao humor, sono, apetite e outras funções do sistema nervoso. Dessa maneira, sua estrutura molecular está diretamente relacionada à capacidade de interação com receptores específicos e à transmissão de sinais químicos no organismo.

4.4 RECEPTORES CELULARES E TRANSDUÇÃO DE SINAL: ABORDAGEM MOLECULAR

A transdução de sinal consiste no processo pelo qual a ligação de um ligante ao seu receptor desencadeia uma série de eventos moleculares intracelulares, culminando em uma resposta biológica específica. Esse mecanismo envolve alterações estruturais no receptor e a ativação de proteínas sinalizadoras que propagam o estímulo no interior da célula (Sousa et al., 2019).

Segundo Cortés et al. (2021), o acoplamento entre ligante e receptor gera um sinal que se propaga ao longo da estrutura da proteína receptora até atingir domínios internos responsáveis por iniciar cascatas de resposta celular. Os autores explicam que essa propagação depende da conformação tridimensional do receptor, evidenciando que a estrutura molecular está diretamente relacionada à eficiência da sinalização.

Dessa forma, a compreensão da transdução de sinal em nível molecular permite explicar como estímulos externos são convertidos em respostas celulares organizadas, sendo esse conhecimento fundamental para a compreensão de processos fisiológicos e patológicos.

4.5 RELAÇÃO ESTRUTURA-FUNÇÃO NA SINALIZAÇÃO CELULAR E IMPLICAÇÕES FARMACOLÓGICAS

A relação entre estrutura e função dos receptores celulares é um dos princípios

centrais da farmacologia moderna. A interação entre fármacos e receptores depende da compatibilidade estrutural entre as moléculas envolvidas, o que determina afinidade, seletividade e intensidade da resposta terapêutica (Tavares, 2022).

A atividade biológica de neurotransmissores, hormônios e fármacos depende diretamente de suas propriedades estruturais, como forma tridimensional, distribuição de cargas elétricas, polaridade e grupos funcionais. Essas características determinam a afinidade e a seletividade da interação com receptores específicos, influenciando diretamente a resposta celular gerada. Dessa forma, pequenas alterações na estrutura química podem modificar significativamente a atividade biológica de uma molécula (Nelson; Cox, 2022; Patrick, 2017).

De acordo com Silva et al. (2025), as relações químicas estabelecidas entre fármacos psicotrópicos e receptores neuronais constituem um dos principais fundamentos da neuropsicofarmacologia contemporânea. Assim, o entendimento da estrutura molecular dos receptores permite explicar tanto os efeitos terapêuticos quanto os efeitos adversos dos medicamentos.

Assim, o estudo da relação estrutura–função na sinalização celular contribui para o desenvolvimento de terapias mais específicas e seguras, possibilitando intervenções farmacológicas direcionadas às vias moleculares envolvidas em diferentes doenças.

5 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos que foram adotados para a realização da pesquisa, descrevendo a modalidade do estudo, os instrumentos de coleta e análise de dados, os participantes e os aspectos éticos envolvidos. A definição dessas etapas é essencial para garantir a sistematização, a confiabilidade e a validade científica da investigação.

5.1 MODALIDADE DE PESQUISA

A presente pesquisa caracteriza-se como bibliográfica, associada a uma revisão integrativa da literatura, com abordagem qualitativa e natureza descritiva. Esse delineamento metodológico foi escolhido por possibilitar a análise e a síntese do conhecimento científico já produzido acerca dos mecanismos moleculares de sinalização de neurotransmissores e hormônios, com ênfase em seus aspectos bioquímicos e estruturais.

A pesquisa bibliográfica, conforme destaca Antonio Carlos Gil (2019), é desenvolvida a partir de materiais já elaborados, como livros e artigos científicos, permitindo ao pesquisador examinar diferentes contribuições teóricas sobre determinado tema. Nesse sentido, esse tipo de estudo possibilita reunir informações relevantes e atualizadas, favorecendo a construção de uma base teórica consistente sobre a comunicação celular mediada por mensageiros químicos.

A revisão integrativa da literatura adotada permite a síntese de resultados de estudos anteriores, contribuindo para uma compreensão abrangente do fenômeno investigado. Segundo Souza, Silva e Carvalho (2010), esse método possibilita integrar achados de pesquisas com diferentes abordagens metodológicas, promovendo uma visão ampla do conhecimento científico disponível.

Quanto à abordagem, a pesquisa foi de caráter qualitativo, pois buscou compreender e interpretar os mecanismos de sinalização celular a partir da análise de conteúdos teóricos, sem o uso de dados estatísticos. De acordo com Maria Cecília de Souza Minayo (2020), a pesquisa qualitativa trabalha com significados, interpretações e relações que não podem ser quantificadas, mas analisadas em profundidade.

Do ponto de vista dos objetivos, o estudo é descritivo, uma vez que buscará descrever e analisar as características estruturais e bioquímicas dos receptores e das vias de sinalização celular. Gil (2019) afirma que a pesquisa descritiva tem como

finalidade principal a descrição das características de determinado fenômeno, estabelecendo relações entre suas variáveis.

5.2 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS

Por se tratar de uma pesquisa bibliográfica com revisão integrativa, os dados foram coletados por meio de levantamento em bases de dados científicas e bibliotecas digitais. Foram consultadas bases como Google Acadêmico e Periódicos CAPES, priorizando artigos publicados nos últimos dez anos, que abordem neurotransmissores, hormônios, receptores celulares e mecanismos de transdução de sinais.

Os critérios de inclusão adotados foram: a) trabalhos publicados entre 2016 e 2026; b) trabalhos em língua portuguesa; c) estudos que apresentassem relação direta com a temática proposta. Foram excluídos: a) trabalhos duplicados; b) trabalhos incompletos; e c) trabalhos que não possuísem relação direta com o objeto de estudo.

A análise dos dados foi realizada por meio de leitura exploratória, seletiva e interpretativa, permitindo a identificação de categorias temáticas relacionadas à estrutura molecular dos receptores, aos mecanismos de transdução de sinal e à ativação de segundos mensageiros. Conforme Gil (2019), a análise qualitativa em pesquisas bibliográficas envolve a organização e interpretação das informações, possibilitando a construção de inferências fundamentadas.

Para a realização das buscas nas bases de dados, foram utilizados os seguintes descritores: “neurotransmissores”, “hormônios”, “receptores celulares”, “transdução de sinal”, “GPCR”, “receptores tirosina quinase” e “sinalização celular”, bem como suas combinações por meio do operador booleano “AND”, visando ampliar a precisão e a relevância dos resultados obtidos.

Inicialmente, foram identificados 91 estudos. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, permaneceram 13 artigos científicos que compuseram a amostra final desta revisão integrativa. Foram incluídos artigos publicados entre os anos de 2016 e 2026, disponíveis na íntegra e relacionados ao tema da pesquisa.

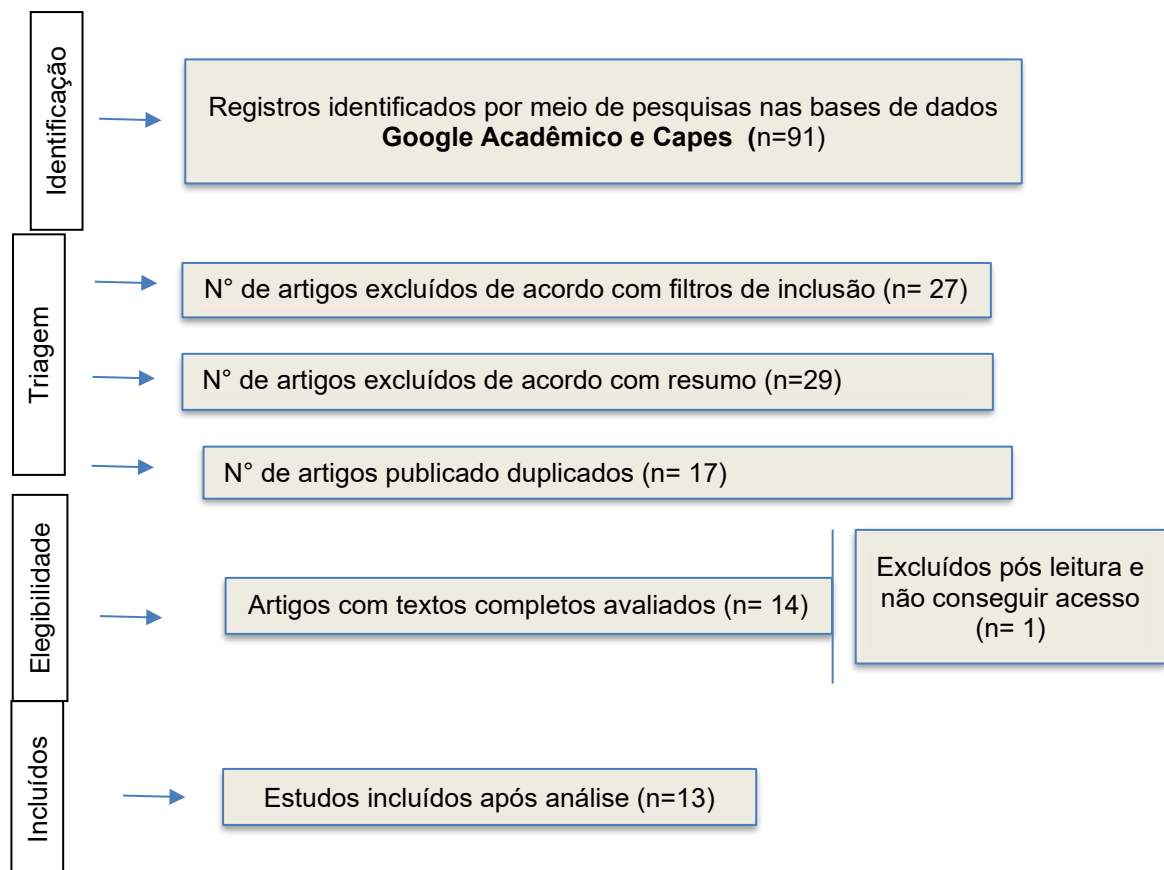
A etapa de triagem, os estudos identificados foram submetidos à análise conforme os critérios de inclusão e exclusão estabelecidos na metodologia. Inicialmente, 27 artigos foram excluídos após a aplicação dos filtros de seleção, considerando aspectos como período de publicação, área de conhecimento, idioma e adequação ao tema proposto. Em seguida, foi realizada a análise dos títulos e resumos dos estudos restantes, resultando na exclusão de 43 artigos que não apresentavam relação direta com o objetivo da pesquisa ou não contemplavam os critérios necessários para continuidade

da análise. Além disso, foram removidos 7 artigos duplicados, identificados em mais de uma base de dados, evitando a repetição de resultados e garantindo maior precisão na seleção dos estudos.

Na etapa de elegibilidade, os 14 artigos selecionados na fase anterior foram avaliados por meio da leitura completa dos textos, buscando verificar sua compatibilidade com a questão de pesquisa, objetivos propostos, metodologia utilizada e contribuição científica para o estudo. Após a análise integral dos trabalhos, 1 artigo foi excluído, por não atender aos critérios estabelecidos ou não apresentar informações suficientes para contribuir com a revisão.

No, na etapa de inclusão, os 13 estudos restantes foram selecionados para compor a amostra final da pesquisa. Esses artigos apresentaram maior relevância e alinhamento com a temática investigada, servindo como base para a análise e discussão dos resultados

FLUXOGRAMA 1: Identificação da produção acadêmica e filtragem



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados desta revisão integrativa foram organizados a partir da análise dos estudos selecionados, os quais abordam os mecanismos de sinalização de neurotransmissores e hormônios, com ênfase na relação entre estrutura molecular e função biológica.

Assim, o Quadro 1 apresenta uma síntese dos artigos selecionados, reunindo informações essenciais como autores, ano de publicação, objetivos, método utilizado e principais resultados encontrados.

Quadro 1: Demonstrativo dos artigos selecionados

Autor/ano	Objetivo	Método	Resultados
Lima Neto 2019	Investigar complexos fármaco-receptor com base em abordagens de bioquímica quântica, buscando compreender interações moleculares em nível estrutural e energético	Estudo teórico-computacional	Os resultados evidenciam que a análise quântica permite compreender com maior precisão as interações moleculares fármaco-receptor, contribuindo para o entendimento da estabilidade dos complexos e dos mecanismos de ligação em nível Atômico
Diniz, Neves e Vieira 2020	Descrever as características dos neurotransmissores norepinefrina (NE) e serotonina (5-HT) envolvidos na depressão, analisando sua relação com o transtorno depressivo e suas implicações fisiológicas.	Revisão bibliográfica narrativa	Os resultados indicam que níveis reduzidos de norepinefrina e serotonina no sistema nervoso estão associados ao surgimento de distúrbios do humor, especialmente a depressão. A norepinefrina atua no estado de alerta, memória e humor, enquanto a serotonina está relacionada à regulação emocional e efeitos antidepressivos. O estudo reforça a importância da compreensão dos mecanismos neuroquímicos da depressão para o desenvolvimento de tratamentos mais eficazes.

Nascimento, 2022	Investigar e compreender o papel do neurotransmissor serotonina em relação à alimentação como fator de melhoria para doenças e transtornos mentais, incluindo depressão, TEA, TDAH e esquizofrenia.	Revisão sistemática	Os resultados mostram que o sistema serotoninérgico, associado à nutrição adequada, contribui para a melhora da saúde mental. A ingestão de nutrientes relacionados à produção de serotonina pode auxiliar no tratamento e prevenção de transtornos mentais, favorecendo o equilíbrio neuroquímico e o bem-estar.
Pironeli, 2021	Explorar e analisar metodologias e avanços na detecção de neurotransmissores, com foco em técnicas eletroanalíticas, visando aplicações no diagnóstico e prevenção de doenças neurológicas	Revisão bibliográfica	O estudo evidencia que neurotransmissores estão diretamente relacionados a diversas doenças neurológicas, como Parkinson e TDAH. Destaca que ultramicroeletrodos permitem análises in vivo sem danificar tecidos, contribuindo para avanços no diagnóstico precoce e monitoramento de psicopatologias.
Tavares 2022	Propor uma sequência de ensino investigativo (SEI) para o Ensino Médio, abordando a química da felicidade (dopamina, serotonina, endorfina e ocitocina) e a química do estresse (cortisol, adrenalina e noradrenalina), de forma contextualizada no ensino de Química.	Pesquisa bibliográfica	Constatou-se que a SEI é uma estratégia eficiente para promover participação ativa dos alunos. A proposta permitiu trabalhar conteúdos de funções orgânicas de forma contextualizada, embora ainda seja uma temática pouco explorada no ensino de Química.
Silva 2025	Analisar os mecanismos de comunicação celular sob uma perspectiva biofísica e molecular, abordando os fatores que influenciam a sinalização celular e suas implicações na saúde.	Pesquisa qualitativa	Os resultados indicam que a comunicação celular é um processo dinâmico e integrado, influenciado por genética, epigenética, bioeletricidade, microbiota e microambiente. Destaca-se que abordagens integrativas podem contribuir para a otimização desses processos e para avanços em medicina personalizada e terapias regenerativas.

Nair et al., 2019	Revisar a evolução conceitual da sinalização celular, abordando como os sinais são transmitidos entre ligante, receptor e cascatas intracelulares, e suas implicações nos processos fisiológicos.	Revisão de literatura	O estudo mostra que a sinalização celular evoluiu como um sistema complexo e dinâmico, envolvendo mensageiros, cascatas de segundos mensageiros e regulação gênica. Destaca a especificidade das respostas celulares, a interferência entre vias (cross-talk) e a integração de múltiplos sistemas na regulação fisiológica.
Monteiro, 2024	Expor a relação entre o Sistema Nervoso Central (SNC), neurotransmissores e psicopatologia, abordando sua composição, funcionamento sináptico e a influência de fatores psicossociais nos transtornos mentais.	Revisão bibliográfica	O estudo evidencia que o SNC é responsável pelo processamento das experiências humanas e que os neurotransmissores exercem papel central na regulação das emoções. Destaca que desequilíbrios químicos estão associados a transtornos psicopatológicos e reforça a importância do conhecimento neurobiológico para a prática clínica em psicologia.
Corrwa, 2024	Identificar mecanismos moleculares associados ao comportamento suicida, utilizando abordagens de biologia de sistemas e ferramentas de bioinformática para compreender fatores biológicos envolvidos no fenômeno	Estudo de natureza computacional e analítica	Identificação de possíveis mecanismos biológicos e moleculares associados ao comportamento suicida, destacando a relação com transtornos mentais como depressão, bipolaridade, esquizofrenia e uso de substâncias, além da participação de vias biológicas complexas relacionadas à regulação neurológica e inflamatória
Dantas, Simões Neto 2025	Analisar a compreensão de estudantes do ensino técnico sobre a química das emoções e a relação entre neurotransmissores e o bem-estar humano, destacando a contextualização desse conteúdo no ensino de Química	Revisão de literatura	Evidencia-se que neurotransmissores como dopamina, serotonina, oxitocina e adrenalina estão diretamente ligados a estados emocionais e comportamentais. O estudo destaca que a contextualização da neuroquímica no ensino favorece a aprendizagem significativa, porém ainda é pouco explorada no ensino técnico, contribuindo para dificuldades de compreensão e

			desinteresse dos estudantes
Pessoa et al., 2025	Compreender os fundamentos neurobiológicos da assertividade e propor estratégias baseadas na neurociência para seu desenvolvimento, analisando a relação entre neuroplasticidade, comunicação e regulação emocional.	Pesquisa bibliográfica	Os resultados indicam que a assertividade está associada ao equilíbrio de neurotransmissores como serotonina e dopamina, além da adaptação dos circuitos neurais por meio da neuroplasticidade. Conclui-se que a assertividade pode ser desenvolvida por meio de estratégias baseadas no funcionamento cerebral, contribuindo para melhor qualidade de vida, desempenho profissional e bem-estar emocional.
Marques, 2025	Investigar quais são as concepções e implicações da Neurociência e das principais funções mentais da aprendizagem na formação de licenciandos em Química, a partir da participação em um minicurso sobre o tema	Pesquisa qualitativa aplicada	Além dos avanços conceituais, os participantes passaram a perceber a neurociência como uma ferramenta fundamental para o ensino. Muitos destacaram que compreender os processos neurais pode ajudá-los a adaptar suas metodologias de ensino para atender às diferentes necessidades dos alunos. Isso inclui a utilização de abordagens diversificadas, considerando as diferenças cognitivas individuais e o papel das emoções na aprendizagem. Esse resultado está alinhado com estudos recentes que indicam que a personalização do ensino, fundamentado no conhecimento do encéfalo, pode contribuir para um processo de ensino e de aprendizado mais eficiente e inclusivo.
Soares 2023	Investigar a química das emoções e sua influência no comportamento humano, analisando como os neurotransmissores interferem nas emoções, na saúde mental e na conduta	Pesquisa de abordagem bibliográfica e levantamento de dados	Os resultados mostraram que apenas 8% dos participantes conheciam o tema neurotransmissores, indicando baixo nível de conhecimento. Também foi observado que 62% relataram mudanças comportamentais no período pós-pandemia, evidenciando influência de fatores emocionais e

	dos indivíduos		desequilíbrios neuroquímicos no comportamento humano
--	----------------	--	--

Fonte: Elaborada pela autora, (2026).

Os 13 estudos selecionados permitiram identificar que a sinalização celular mediada por neurotransmissores e hormônios depende diretamente da relação entre estrutura molecular, reconhecimento receptor-ligante e ativação de vias intracelulares. A análise integrada dos trabalhos mostrou que pequenas diferenças estruturais nas moléculas sinalizadoras podem modificar afinidade, seletividade e intensidade da resposta biológica, confirmando o problema de pesquisa proposto neste estudo.

Em relação aos fundamentos da comunicação celular, os achados de Nair et al. (2019) demonstram que a sinalização celular não ocorre de forma linear, mas como uma rede dinâmica de interações envolvendo receptores, segundos mensageiros e mecanismos de regulação gênica. A existência de cross-talk entre diferentes vias de sinalização, evidenciando que uma mesma célula pode integrar múltiplos estímulos simultaneamente. Esse resultado reforça a ideia de que a resposta celular depende não apenas da presença do ligante, mas também do contexto molecular em que o receptor está inserido.

Os estudos de Silva (2025) ampliam essa discussão ao indicar que fatores genéticos, epigenéticos e ambientais influenciam a eficiência da comunicação celular. Dessa forma, a sinalização deixa de ser compreendida apenas como um fenômeno bioquímico isolado e passa a ser entendida como um processo integrado ao microambiente celular. Essa perspectiva é importante porque demonstra que alterações na estrutura dos receptores ou nas proteínas sinalizadoras podem contribuir para diferentes estados fisiológicos e patológicos.

No que se refere aos neurotransmissores, os trabalhos analisados evidenciam a importância da composição química dessas moléculas para sua função sináptica. Diniz, Neves e Vieira (2020) mostraram que a redução de serotonina e norepinefrina está associada a distúrbios do humor, especialmente à depressão. A serotonina participa da regulação emocional, enquanto a norepinefrina atua em processos

relacionados ao estado de alerta e à memória. Esses resultados indicam que a alteração na disponibilidade desses neurotransmissores modifica a ativação de seus receptores e, conseqüentemente, as cascatas intracelulares responsáveis pela resposta neuronal.

Nascimento (2022) complementa essa análise ao demonstrar que o sistema serotoninérgico apresenta relação com fatores nutricionais e com diferentes transtornos mentais, como depressão, TDAH e esquizofrenia. O estudo sugere que a síntese e o funcionamento adequado da serotonina dependem de condições metabólicas específicas, evidenciando que a sinalização celular é influenciada tanto pela estrutura do neurotransmissor quanto pelo ambiente bioquímico do organismo.

A análise dos estudos demonstrou que a comunicação celular constitui um processo complexo e organizado, baseado na interação entre moléculas sinalizadoras e receptores específicos capazes de reconhecer estímulos químicos e desencadear respostas intracelulares. Esse mecanismo envolve uma sequência de eventos moleculares que permite a transmissão das informações entre as células e a manutenção da homeostase do organismo.

Nair et al. (2019) evidenciaram que a sinalização celular não ocorre de forma linear, mas por meio de uma rede integrada envolvendo receptores, proteínas sinalizadoras, segundos mensageiros e mecanismos de regulação gênica. Os resultados indicam que diferentes vias podem atuar de maneira conjunta, permitindo que uma mesma célula responda simultaneamente a diversos estímulos.

Silva (2025) ampliou essa compreensão ao demonstrar que fatores genéticos, epigenéticos e ambientais influenciam a eficiência dos processos de comunicação celular. Dessa forma, a resposta biológica depende não apenas da presença do mensageiro químico, mas também do ambiente molecular no qual a célula está inserida.

Assim, os estudos analisados evidenciam que a comunicação celular apresenta como base a relação entre estrutura molecular e função biológica, uma vez que a especificidade das interações químicas determina a ativação das vias responsáveis pelas respostas celulares.

Os estudos analisados demonstraram que os neurotransmissores apresentam diferentes características químicas que influenciam diretamente sua síntese, liberação, reconhecimento pelos receptores e efeitos fisiológicos. A diversidade estrutural dessas moléculas permite a existência de diferentes mecanismos de

comunicação no sistema nervoso.

Diniz, Neves e Vieira (2020) destacaram que neurotransmissores como serotonina e norepinefrina participam da regulação do humor, memória, atenção e comportamento. Os resultados indicaram que alterações na concentração dessas moléculas podem modificar a ativação dos receptores neuronais e interferir nas vias intracelulares relacionadas ao funcionamento cerebral.

Nascimento (2022) demonstrou que o sistema serotoninérgico está associado à regulação de diversas funções neurológicas e comportamentais, evidenciando que a atividade desse neurotransmissor depende tanto de sua estrutura química quanto das condições metabólicas necessárias para sua produção e utilização pelo organismo.

Além disso, os estudos apontaram a importância do equilíbrio entre neurotransmissores excitatórios e inibitórios. O glutamato e o GABA apresentam funções complementares na regulação da atividade neuronal, sendo que alterações nesse equilíbrio podem favorecer processos relacionados à hiperexcitabilidade neural e ao desenvolvimento de alterações neurológicas.

Pironeli (2021) evidenciou ainda que o conhecimento sobre neurotransmissores apresenta aplicações tecnológicas, especialmente no desenvolvimento de métodos de detecção capazes de identificar alterações neuroquímicas associadas a doenças do sistema nervoso.

Os resultados obtidos indicaram que a natureza química dos hormônios determina diretamente seu mecanismo de ação, o tipo de receptor envolvido e a duração das respostas celulares produzidas.

Hormônios peptídicos, como a insulina, atuam principalmente por meio de receptores localizados na membrana celular, ativando cascatas intracelulares relacionadas ao metabolismo e crescimento. Em contrapartida, hormônios esteroides possuem maior capacidade de atravessar a membrana plasmática e interagir com receptores intracelulares, regulando processos relacionados à expressão gênica.

Takano, Senger e Barreto-Chaves (2020) demonstraram que hormônios como insulina, IGF-1 e angiotensina II participam da ativação de vias celulares envolvidas no crescimento e remodelamento dos tecidos. Esses resultados reforçam que alterações na sinalização hormonal podem interferir no equilíbrio fisiológico e contribuir para o desenvolvimento de processos patológicos.

Dessa forma, observa-se que a composição química dos hormônios está

diretamente relacionada ao modo como esses mensageiros interagem com suas células-alvo e desencadeiam respostas específicas.

Os estudos avaliados demonstraram que os receptores celulares desempenham papel central na transformação de sinais extracelulares em respostas intracelulares. Esses componentes funcionam como estruturas responsáveis pelo reconhecimento molecular dos ligantes e pela ativação das vias bioquímicas subsequentes.

Cortés et al. (2021) destacaram que a ligação entre ligante e receptor promove alterações conformacionais na estrutura proteica, permitindo a ativação de proteínas sinalizadoras e o início das cascatas intracelulares.

Entre os receptores analisados, os receptores acoplados à proteína G (GPCRs) apresentaram grande relevância por participarem de diversos processos fisiológicos. Sua ativação promove a troca de GDP por GTP na proteína G, levando à formação de segundos mensageiros, como AMP cíclico, IP3 e DAG, responsáveis pela amplificação do sinal celular.

Também foram identificados outros sistemas importantes, como os receptores tirosina quinase, os canais iônicos dependentes de ligantes e os receptores nucleares. Esses mecanismos diferenciam-se pela velocidade de resposta e pelo tipo de alteração celular produzida, demonstrando que a estrutura dos receptores influencia diretamente a função desempenhada.

A análise integrada dos estudos revelou que existe uma relação direta entre a estrutura molecular dos neurotransmissores, hormônios e receptores e a intensidade das respostas celulares geradas.

Lima Neto (2019) demonstrou que abordagens de bioquímica quântica permitem compreender as interações entre moléculas e receptores em nível atômico, evidenciando que forças intermoleculares, distribuição de cargas e conformação espacial influenciam a estabilidade dos complexos formados.

Os estudos de Nair et al. (2019) e Silva (2025) reforçaram que alterações estruturais nos receptores podem modificar a capacidade de reconhecimento dos ligantes e interferir na ativação das vias intracelulares.

Além disso, os resultados demonstraram que a amplificação do sinal ocorre por meio de cascatas bioquímicas, nas quais uma única interação molecular pode ativar diversas proteínas e segundos mensageiros, produzindo respostas celulares amplificadas.

Sob a perspectiva farmacológica, Lima Neto (2019) destacou que a compreensão das interações entre moléculas sinalizadoras e receptores contribui para o desenvolvimento de medicamentos mais seletivos, pois permite identificar características estruturais relacionadas à afinidade e especificidade molecular.

De forma geral, os estudos analisados demonstraram que a estrutura molecular dos neurotransmissores, hormônios e receptores constitui um fator determinante para a eficiência da comunicação celular. A complementaridade entre ligante e receptor, as alterações conformacionais das proteínas e a ativação de segundos mensageiros são mecanismos fundamentais para a transdução e amplificação dos sinais biológicos.

Os resultados evidenciam que compreender a relação entre estrutura e função molecular é essencial para o avanço dos conhecimentos em bioquímica, biologia molecular e química medicinal, possibilitando novas perspectivas para o desenvolvimento de estratégias terapêuticas e para a compreensão dos processos fisiológicos e patológicos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho abordou a análise bioquímica e estrutural dos mecanismos moleculares de sinalização de neurotransmissores e hormônios, destacando a importância dessas moléculas nos processos de comunicação celular. O estudo partiu da necessidade de compreender como as características estruturais dos ligantes e receptores influenciam a transmissão das informações biológicas e as respostas celulares desencadeadas a partir dessas interações.

A metodologia adotada consistiu em uma revisão integrativa da literatura, realizada por meio da consulta a artigos científicos, livros e trabalhos acadêmicos publicados sobre a temática. Esse método mostrou-se adequado para atender aos objetivos propostos, pois permitiu reunir diferentes contribuições científicas e analisar, de forma ampla, os principais conhecimentos produzidos acerca da sinalização celular, dos neurotransmissores, dos hormônios e dos mecanismos de transdução de sinais.

Os resultados obtidos evidenciaram que a estrutura molecular dos neurotransmissores, hormônios e receptores está diretamente relacionada à eficiência da comunicação celular. Foi possível observar que a especificidade da ligação entre ligantes e receptores, as alterações conformacionais das proteínas receptoras e a ativação de segundos mensageiros são fatores fundamentais para a geração e amplificação das respostas biológicas. Além disso, os estudos analisados demonstraram que alterações nesses mecanismos podem estar associadas ao surgimento de diversas doenças, reforçando a importância do conhecimento bioquímico para a compreensão dos processos fisiológicos e para o desenvolvimento de novos tratamentos.

Outro aspecto observado foi a contribuição dos avanços científicos para a compreensão das relações entre estrutura química e função biológica. Os trabalhos analisados mostraram que o aprofundamento desses conhecimentos tem favorecido o desenvolvimento de medicamentos mais específicos e eficientes, além de ampliar a compreensão dos processos moleculares envolvidos na manutenção da homeostase.

Dessa forma, conclui-se que o objetivo geral da pesquisa foi alcançado, assim como os objetivos específicos estabelecidos. O problema de pesquisa também foi respondido, uma vez que os resultados demonstraram que a estrutura molecular dos componentes envolvidos na sinalização celular exerce influência direta sobre os

mecanismos bioquímicos responsáveis pela transdução e amplificação dos sinais.

Diante disso, destaca-se que o tema não se esgota nesta pesquisa, sendo importante a realização de novos estudos, especialmente de caráter experimental, que possam aprofundar ainda mais o conhecimento sobre os mecanismos moleculares da comunicação celular e suas aplicações nas áreas da Química, Biologia e Saúde.

REFERÊNCIAS

ALBERTS, Bruce et al. **Molecular Biology of the Cell**. 6. ed. New York: Garland Science, 2017.

ANDRICOPOULO, Adriano D.; et al. Nobel de Química 2012: receptores acoplados à proteína G. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 23, n. 10, p. 1765–1770, 2012.

<https://www.scielo.br/j/jbchs/a/y73fjL6XyVPDRJVMYThJ8Jn/?format=html&lang=pt>
Acesso em: 18 jun. 2026.

CORREA, Pedro Henrique da Rosa. **Identificação dos mecanismos moleculares envolvidos no comportamento suicida baseado na biologia de sistemas e ferramentas de bioinformática**. 2024. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas: Farmacologia e Terapêutica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Ciências Básicas da Saúde, Porto Alegre, 2024. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/285153>. Acesso em: 18 jun. 2026.

DINIZ, Julia Pickina; NEVES, Solange Aparecida de Oliveira; VIEIRA, Milene Leivas. **Ação dos neurotransmissores envolvidos na depressão**. Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde, v. 24, n. 4, p. 437–443, 2020. Disponível em: <https://ensaioseciencia.pgsscogna.com.br/ensaioeciencia/article/view/7590>. Acesso em: 18 jun. 2026.

FERREIRA, M. K. A.; SOUZA, D. O. Glutamato e GABA: equilíbrio excitatório-inibitório no sistema nervoso central. **Revista Brasileira de Ensino de Bioquímica e Biologia Molecular**, Brasília, v. 19, n. 1, p. 45-56, 2021.

Disponível em: <https://www.sbbq.org.br/revista/index.php/rbebbm> . Acesso em: 14 fev. 2026.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GOMES, C. H. R. **Construção de uma biblioteca de anticorpos ScFv contra o VEGF**. 2013. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/46/46131/tde-09082013-093807/pt-br.php> Acesso em: 18 jun. 2026.

GOMES, F. V.; GUIMARÃES, F. S. Mecanismos sinápticos e neurotransmissão: bases celulares da comunicação neuronal. **Revista Brasileira de Ciências da Saúde**, João Pessoa, v. 24, n. 3, p. 89-98, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/index.php/rbcs>. Acesso em: 14 fev. 2026.

GROVES, J. T.; KURIYAN, J. Mecanismos moleculares na transdução de sinal na membrana. **Nature Structural & Molecular Biology**, v. 17, n. 6, p. 659–665, jun. 2010. DOI: 10.1038/nsmb.1844. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3703790/>. Acesso em: 02 fev. 2026.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de**

metodologia científica. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

LIMA NETO, José Xavier de. **Estudo em complexos fármaco-receptor utilizando bioquímica quântica**. 2019. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Biociências, Programa de Pós-Graduação em Bioquímica, Natal, 2019.

LODISH, Harvey et al. **Molecular Cell Biology**. 9. ed. New York: W. H. Freeman, 2021.

MACEDO, Deyvid Torres Dias. **Neurotransmissores: uma abordagem química e farmacológica**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) – Faculdade Campo Limpo Paulista, Campo Limpo Paulista, 2012. Disponível em: Microsoft Word - TCCFINAL Acesso em: 18 jun. 2026.

MARQUES, Vítor Henrique de Almeida. **Neurociências e as principais funções mentais da aprendizagem: concepções e implicações à formação de licenciandos em Química**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina, Londrina, 2025. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/36354> Acesso em: 18 jun. 2026.

MINAYO, Maria Cecília de Souza. **O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde**. 14. ed. São Paulo: Hucitec, 2014.

MONTEIRO, Cliciane da Silva. **Sistema nervoso central, neurotransmissores e a psicopatologia: um recorte**. Research, Society and Development, v. 13, n. 9, e4813946814, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v13i9.46814>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/46814>. Acesso em: 18 jun. 2026.

MORAES, M. F. D.; PEREIRA, G. S. Plasticidade sináptica e memória: participação dos receptores glutamatérgicos. **Revista Neurociências**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 1-10, 2020. Disponível em: <https://periodicos.unifesp.br/index.php/neurociencias>. Acesso em: 14 fev. 2026.

MOTA, S. L. **Fisiologia humana**. São Paulo: Editora Atheneu, 2021.

MOTA, S. T. S. **Sinalização de anexina A1: papel das vias de EGFR e IL-6 nos cânceres de próstata e mama**. 2021. Tese (Doutorado em Genética e Bioquímica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/34220> Acesso em: 18 jun. 2026.

NAIR, Arathi; CHAUHAN, Prashant; SAHA, Bhaskar; KUBATZKY, Katharina F. **Evolução conceitual da sinalização celular**. International Journal of Molecular Sciences, v. 20, n. 13, p. 3292, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms20133292> Acesso em: 18 jun. 2026.

NASCIMENTO, Késya Salvino do. Neurotransmissor serotoninérgico em relação a doenças psíquicas e seus fatores nutricionais: uma revisão sistemática. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, e56011226168, 2022. DOI: 10.33448/rsd-

v11i2.26168. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i2.26168>. Acesso em: 18 jun. 2026.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica de Lehninger**. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2022.

OLIVEIRA, M. S.; TAVARES, R. G. Neurotransmissores e receptores sinápticos: mecanismos de ação e relevância clínica. **Revista Médica de Minas Gerais**, Belo Horizonte, v. 29, e-2006, 2019. Disponível em: <https://rmmg.org/>. Acesso em: 04 fev. 2026.

PATRICK, Graham L. **An Introduction to Medicinal Chemistry**. 6. ed. Oxford: Oxford University Press, 2017.

PESSOA, Angela Paula da Silva; SILVA E SILVA, Ádila Marta da; MENDONÇA, Arlete Ferreira; MENDONÇA, Francisco Lúcio de Lira; SOARES, Cislén Auxiliadora de Souza; BRITO, Rubem da Silva; SILVA, Maurício Oliveira da; SOUZA, Allan Andrade de. Neurociência em ação: a relação entre neuroplasticidade, assertividade e realização pessoal. **Revista ARACÊ**, v. 7, n. 7, p. 40929–40955, 2025. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/6926>. Acesso em: 18 jun. 2026.

PIEROZAN, P. **Homeostase do citoesqueleto**: ênfase nas vias de sinalização e aspectos neuroquímicos. 2014. Tese (Doutorado em Bioquímica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

PIRONELI, Isabela Cristina. **Deteção de neurotransmissores utilizando-se abordagem eletroanalítica**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Biotecnologia) – Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Biotecnologia, Patos de Minas, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/33269/1/Trabalho%20de%20conclusa%CC%83o%20de%20curso%20-%20Isabela%20Pironeli%20%281%29.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2026.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SILVA, Alan de Angeles Guedes da; DIAS, Márcia Adelino da Silva. **A abordagem dos conceitos de bioquímica celular no ensino por experimentação**. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO (CONEDU), VIII., 2022, Chapecó. Anais [...]. Chapecó: Realize Editora, 2022. DOI: 10.46943/VIII.CONEDU.2022.GT16.020.

SILVA, Karla Fernanda Rodrigues da. Comunicação celular: uma abordagem biofísica e molecular. **RevistaFT**, v. 29, n. 149, ago. 2025. DOI: 10.69849/revistaft/ar10202508250733. Disponível em: <https://revistaft.com.br/comunicacao-celular-uma-abordagem-biofisica-e-molecular/>. Acesso em: 18 jun. 2026.

SOARES, Kauany Stephane Jordão. **A química das emoções e sua influência no**

comportamento humano. Penedo, AL: Instituto Federal de Alagoas, 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Técnico em Química) – Instituto Federal de Alagoas, Campus Penedo, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifal.edu.br/server/api/core/bitstreams/4a4bdef8-6e69-47d0-8235-b176c7b2eb14/content> Acesso em: 18 jun. 2026.

SOUSA, F. O.; REZENDE, M. G.; SANTOS, H. A. X.; MORAES, I. A. **A comunicação e sinalização celular:** elementos importantes para a homeostasia. 2019. Disponível em: <http://webquestvet.uff.br/a-comunicacao-e-sinalizacao-celular-elementos-importantes-para-a-homeostasia/>. Acesso em: 02 fev. 2026.

SOUZA, D. O.; FARINA, M.; ROCHA, J. B. T. Neurotransmissores: fundamentos bioquímicos e aplicações em neurociências. **Revista Brasileira de Neurologia**, Rio de Janeiro, v. 55, n. 2, p. 5-14, 2019. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/rbn>. Acesso em: 04 fev. 2026.

SOUZA, Marcela Tavares de; SILVA, Michelly Dias da; CARVALHO, Rachel de. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Einstein (São Paulo)**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 102–106, 2010.

SU, J.; SONG, Y.; ZHU, Z.; HUANG, X.; FAN, J.; QIAO, J.; MAO, F. **Comunicação célula-célula:** novos insights e implicações clínicas. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, v. 9, n. 1, p. 196, 2024. DOI: 10.1038/s41392-024-01888-z. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11382761/>. Acesso em: 18 jun. 2026.

TAVARES, Suane Sousa Rodrigues. **A química do estresse e da felicidade:** proposição de uma sequência de ensino investigativo com a abordagem contextualizada. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Itumbiara, Itumbiara, 2022. Disponível em: https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/1598/1/tcc_Suane%20Sousa%20Rodrigues%20Tavares.pdf. Acesso em: 02 fev. 2026.

TEIXEIRA, T. L. **Proteínas relacionadas ao citoesqueleto e vias de sinalização envolvidas no tráfego intracelular.** 2014. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/16702> Acesso em: 18 jun. 2026.