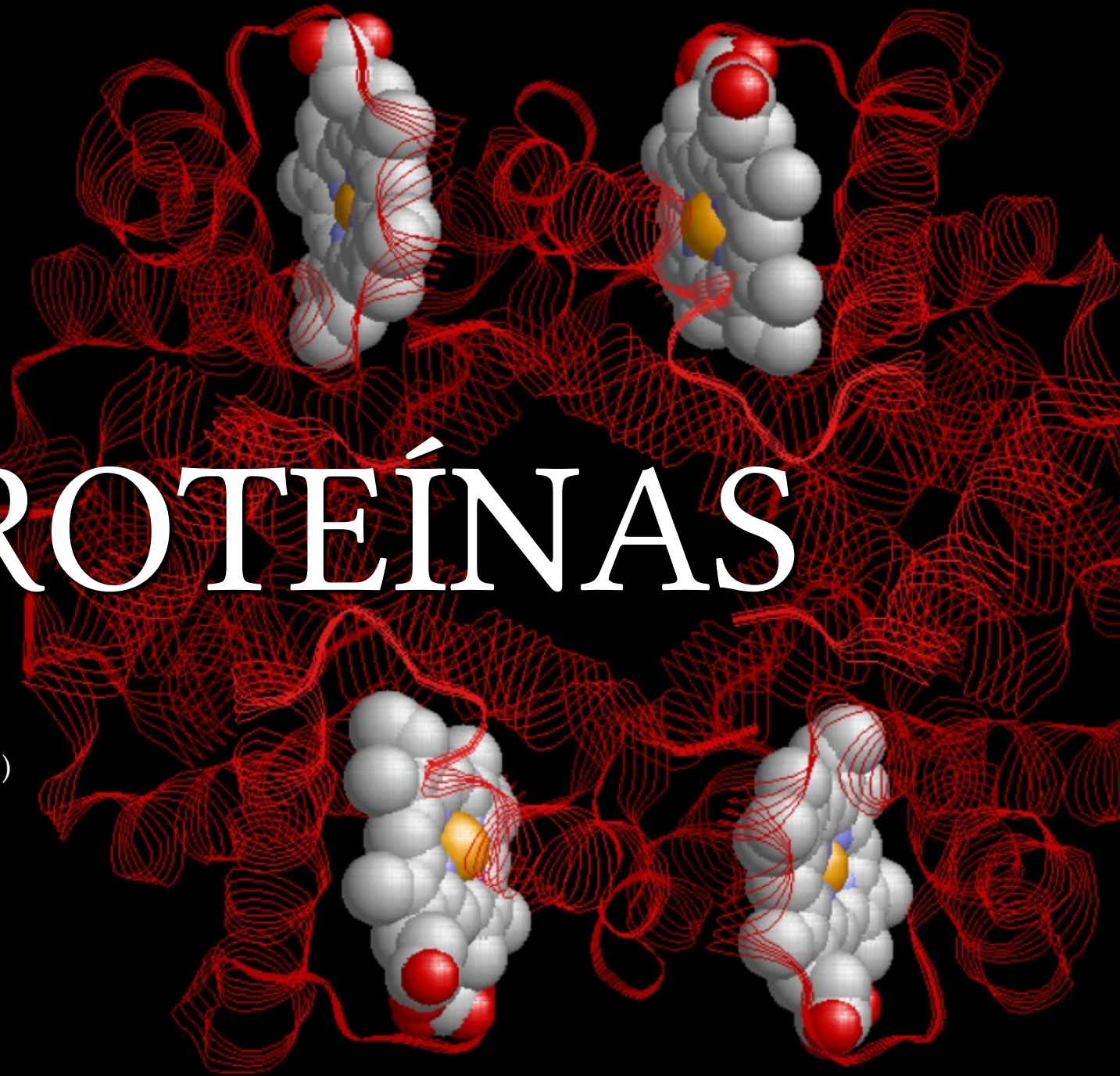
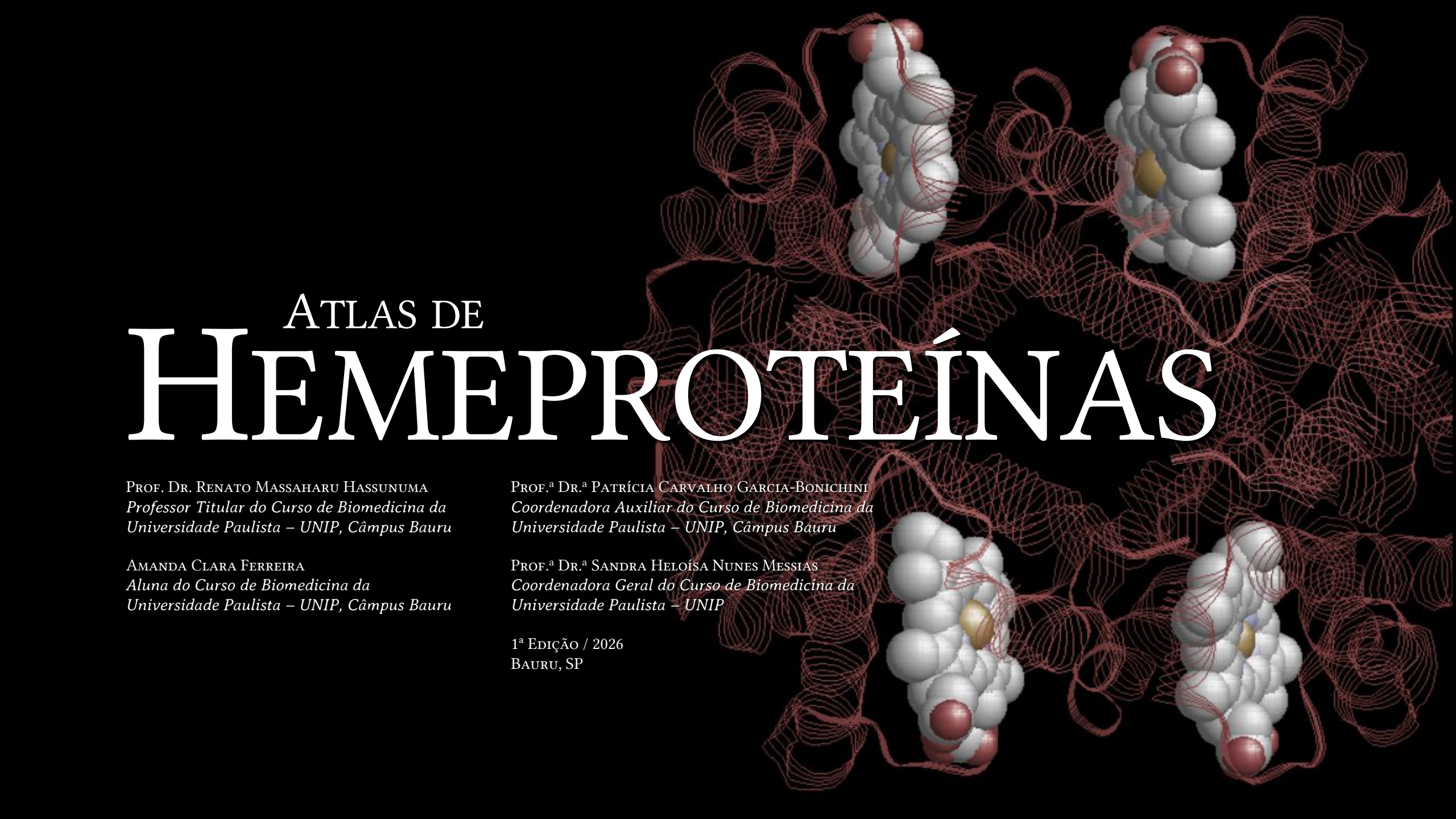


ATLAS DE HEMEPROTEÍNAS

Renato Massaharu Hassunuma
Amanda Clara Ferreira
Patrícia Carvalho Garcia-Bonichini
Sandra Heloísa Nunes Messias (Orgs.)

canal6 editora





ATLAS DE HEMOPROTEÍNAS

PROF. DR. RENATO MASSAHARU HASSUNUMA
*Professor Titular do Curso de Biomedicina da
Universidade Paulista – UNIP, Câmpus Bauru*

AMANDA CLARA FERREIRA
*Aluna do Curso de Biomedicina da
Universidade Paulista – UNIP, Câmpus Bauru*

PROF.^a DR.^a PATRÍCIA CARVALHO GARCIA-BONICHINI
*Coordenadora Auxiliar do Curso de Biomedicina da
Universidade Paulista – UNIP, Câmpus Bauru*

PROF.^a DR.^a SANDRA HELOÍSA NUNES MESSIAS
*Coordenadora Geral do Curso de Biomedicina da
Universidade Paulista – UNIP*

1ª EDIÇÃO / 2026
BAURU, SP

© Renato Massaharu Hassunuma.

Conselho Editorial

BIOMÉDICA ESP. AMANDA CRISTINA MOÇO
Especialista em Inovações Diagnósticas e Terapêuticas pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP/Botucatu

ENF. ESP. FÁBIO APARECIDO DA SILVA
Especialista em Enfermagem em UTI Neonatal, Ginecologia e Obstetrícia pela Faculdade de São Marcos – FACSM

Capa e Design

PROF. DR. RENATO MASSAHARU HASSUNUMA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (BENITEZ Catalogação Ass. Editorial, MS, Brasil)		
A881		
1.ed.	Atlas de hemeproteínas [livro eletrônico] / organizadores Renato Massaharu Hassunuma...[et al.]. – 1. ed. – Bauru, SP : Canal 6 Editora, 2026. PDF.	
	Bibliografia. Outros organizadores: Amanda Clara Ferreira, Patrícia Carvalho Garcia-Bonichini, Sandra Heloísa Nunes Messias. ISBN 978-85-7917-704-0 DOI 10.52050/9788579177040	
	1. Atlas. 2. Bioquímica. 3. Ciências biológicas. I. Hassunuma, Renato Massaharu. II. Ferreira, Amanda Clara. III. Garcia-Bonichini, Patrícia Carvalho. IV. Messias, Sandra Heloísa Nunes.	
02-2026/154		CDD 570

Índice para catálogo sistemático:		
1. Atlas : Bioquímica : Ciências biológicas 570		
Aline Grazielle Benitez – Bibliotecária - CRB-1/3129		

Apresentação

Este livro é resultado das atividades práticas desenvolvidas por alunos do 2º ano na Disciplina de Bioquímica Estrutural do **Curso de Biomedicina da Universidade Paulista – UNIP / Câmpus Bauru**, durante o primeiro semestre de 2026.

Agradecemos a **Biomédica Esp. Amanda Cristina Moço** e o **Enf. Esp. Fábio Aparecido da Silva**, membros do Conselho Editorial, por suas valiosas considerações na revisão desta publicação.

*Prof. Dr. Renato Massaharu Hassunuma,
Amanda Clara Ferreira,
Prof.^a Dr.^a Patrícia Carvalho Garcia e
Prof.^a Dr.^a Sandra Heloísa Nunes Messias.*

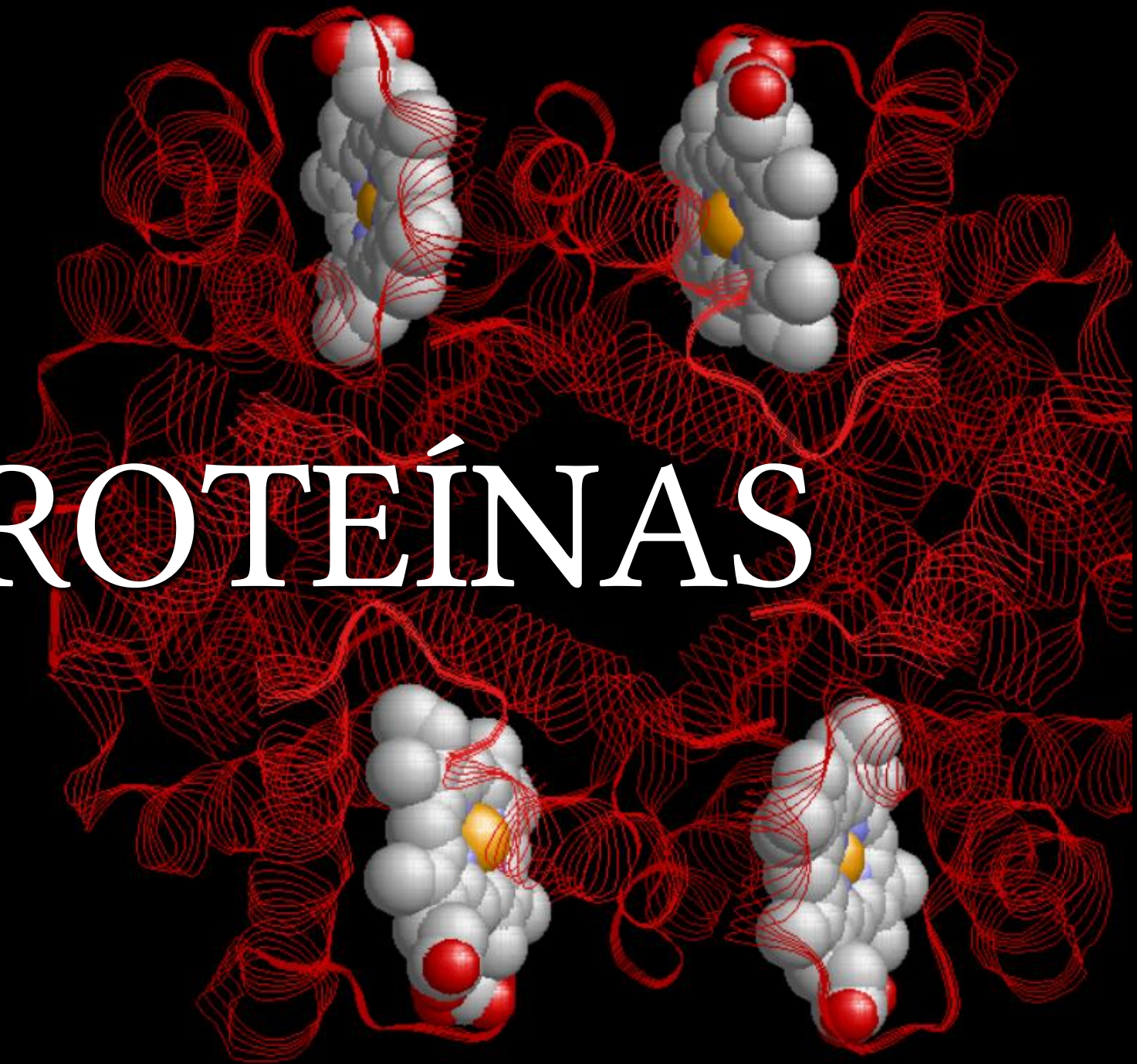
Sumário

Introdução	09
<i>Renato Massaharu Hassunuma</i>	
Grupo I - Hemeproteínas transportadoras de elétrons	10
<i>Renato Massaharu Hassunuma</i>	
1. Citocromos <i>b</i>	12
<i>Ana Laura Lopes Valentim, Isabelly Nogueira Estremes e Jéssica Tainara Oliveira de Moraes</i>	
2. Citocromo <i>c</i>	13
<i>Joyce Cristhiane Valenciano e Maiky de Oliveira Santos</i>	
3. Citocromo P450	14
<i>Isabelly Nogueira Estremes</i>	
4. Complexo II	15
<i>Ana Laura Lopes Valentim, Isabelly Nogueira Estremes e Jéssica Tainara Oliveira de Moraes</i>	
5. Complexo III	16
<i>Agnes Caroline Ferreira Dinis Ribeiro, Gabriela Martins da Silva e Isabela Cruz Alcantara</i>	
6. Complexo IV	17
<i>Ana Cristina Rodrigues Netto de Moraes, Ana Livia de Oliveira, Beatriz Amanda Gonçalves, Julia Eugenio Rondina de Lourenço e Laura Poliana Veronezi</i>	

Grupo II – Hemeproteínas que realizam ligação com gases	18
<i>Renato Massaharu Hassunuma</i>	
1. Citoglobina	20
<i>Anna Julia Azevedo de Souza e Thais Artioli Buono</i>	
2. Mioglobina	21
<i>Joyce Cristhiane Valenciano e Maiky de Oliveira Santos</i>	
3. Hemoglobina	22
<i>Renato Massaharu Hassunuma</i>	
4. Neuroglobina	23
<i>Ana Laura Lopes Valentim, Isabelly Nogueira Estremes e Jéssica Tainara Oliveira de Moraes</i>	
Grupo III – Hemeproteínas relacionadas à decomposição de peróxidos	24
<i>Renato Massaharu Hassunuma</i>	
1. Catalase	26
<i>Ana Cristina Rodrigues Netto de Moraes, Ana Livia de Oliveira, Beatriz Amanda Gonçalves, Julia Eugenio Rondina de Lourenço e Laura Poliana Veronezi</i>	
2. Mieloperoxidase	27
<i>Agnes Caroline Ferreira Dinis Ribeiro, Gabriela Martins da Silva e Isabela Cruz Alcantara</i>	

3. Peroxidase	28
<i>Beatriz Leme Possomato, Giovana Erba Juliatto, Larissa Marques Murilhas Covos e Nicolly Castilho Salvadio</i>	
Grupo IV – Hemeproteínas de funções variadas	29
<i>Renato Massaharu Hassunuma</i>	
1. Guanilato ciclase solúvel	31
<i>Giovanna Argentino Arantes e Letícia Genari de Paula</i>	
2. Óxido nítrico sintase	32
<i>Laysa Vitória Camargo da Silva, Nikolas Teixeira dos Santos, Rafaela Dariva Lima e Tainara Ferreira Duarte</i>	
3. Ciclooxygenases	33
<i>Beatriz Ferreira de Oliveira, Danielle Aureliano Paschoarelli, Ingrid Isabelle Arraes Oliveira, Maria Clara Rocha Barqueiro, Marina Estevanato De Campos Penteado e Rafaela de Campos Ferreira</i>	

ATLAS DE
HEMEPROTEÍNAS



Introdução

As hemeproteínas são biomoléculas que apresentam em sua estrutura química um grupamento funcional heme, formado pela protoporfirina IX ($C_{34}H_{32}FeN_4O_4$) e um íon de ferro no estado ferroso (Fe^{2+}) (Rodrigues *et al.*, 2020). Estas proteínas podem ser classificadas em quatro grupos de acordo com a sua função:

- Grupo I – Hemeproteínas transportadoras de elétrons;
- Grupo II – Hemeproteínas que realizam ligação com gases;
- Grupo III – Hemeproteínas relacionadas à decomposição de peróxidos;
- Grupo IV – Hemeproteínas de funções variadas (Ferreira *et al.*, 2025).

Nos capítulos a seguir, estão apresentadas informações e uma ilustração desenvolvida utilizando o programa computacional RasMol 2.7.5.2. (link: <https://www.umass.edu/microbio/rasmol/>) para cada uma das principais hemeproteínas humanas de cada grupo.

Referências

- RODRIGUES, R. C.; HASSUNUMA, R. M.; GARCIA, P. C.; MESSIAS, S. H. N. Grupo heme. In: _____. **Hemoglobinas estruturas bioquímicas e propriedades**. Bauru: Canal 6 Editora, 2020. p. 7. Disponível em: <https://canal6.com.br/livreacesso/livro/hemoglobinas-estruturas-bioquimicas-e-propriedades/>. Acesso em: 13 fev. 2026.
- FERREIRA, A. C.; HASSUNUMA, R. M.; GARCIA-BONICHINI, P. C.; MESSIAS, S. H. N. Hemeproteínas humanas como modelo para localização de grupamentos químicos em programa gratuito de simulação computacional de biomoléculas. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, v. 6, n. 2, p. 31-44, 2025. Disponível em: <https://editoraintegrar.com.br/publish/index.php/rema/article/view/4559>. Acesso em: 13 fev. 2026.

The background features a detailed wireframe model of a protein structure, likely a cytochrome complex, with four heme groups represented as clusters of spheres. The protein backbone is shown as a complex network of loops and helices. The heme groups are positioned at the top and bottom of the structure, each containing a central dark sphere representing an iron atom.

ATLAS DE HEMOPROTEÍNAS

GRUPO I

Hemoproteínas transportadoras de elétrons

Grupo I

Neste grupo estão agrupadas hemeproteínas que desempenham como principal função a transferência de elétrons, que são essenciais em diferentes sistemas biológicos, incluindo a respiração celular. Como principais exemplos estão as famílias de citocromos e proteínas da cadeia respiratória (Ferreira *et al.*, 2025; Morgado; Salgueiro, 2022).

Referências

- RODRIGUES, R. C.; HASSUNUMA, R. M.; GARCIA, P. C.; MESSIAS, S. H. N. Grupo heme. In: _____. **Hemoglobinas estruturas bioquímicas e propriedades**. Bauru: Canal 6 Editora, 2020. p. 7. Disponível em: <https://canal6.com.br/livreacesso/livro/hemoglobinas-estruturas-bioquimicas-e-propriedades/>. Acesso em: 13 fev. 2026.
- FERREIRA, A. C.; HASSUNUMA, R. M.; GARCIA-BONICHINI, P. C.; MESSIAS, S. H. N. Hemeproteínas humanas como modelo para localização de grupamentos químicos em programa gratuito de simulação computacional de biomoléculas. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, v. 6, n. 2, p. 31-44, 2025. Disponível em: <https://editoraintegrar.com.br/publish/index.php/rema/article/view/4559>. Acesso em: 13 fev. 2026.

1. Citocromos b

São proteínas transportadoras de elétrons. O subtipo citocromo b₅ está localizado no retículo endoplasmático e participa do metabolismo de lipídios, fármacos e regulação do citocromo P450 (Bhatt *et al.*, 2017). Na figura ao lado, observa-se o citocromo b₅ humano no Modo *Strands* em violeta com dois grupos heme no Modo *Spacefill* no modo de cores CPK, usando o arquivo 3NER.pdb (Terzyan *et al.*, 2023).

Script

Load 3NER.pdb

Strands

Colour violet

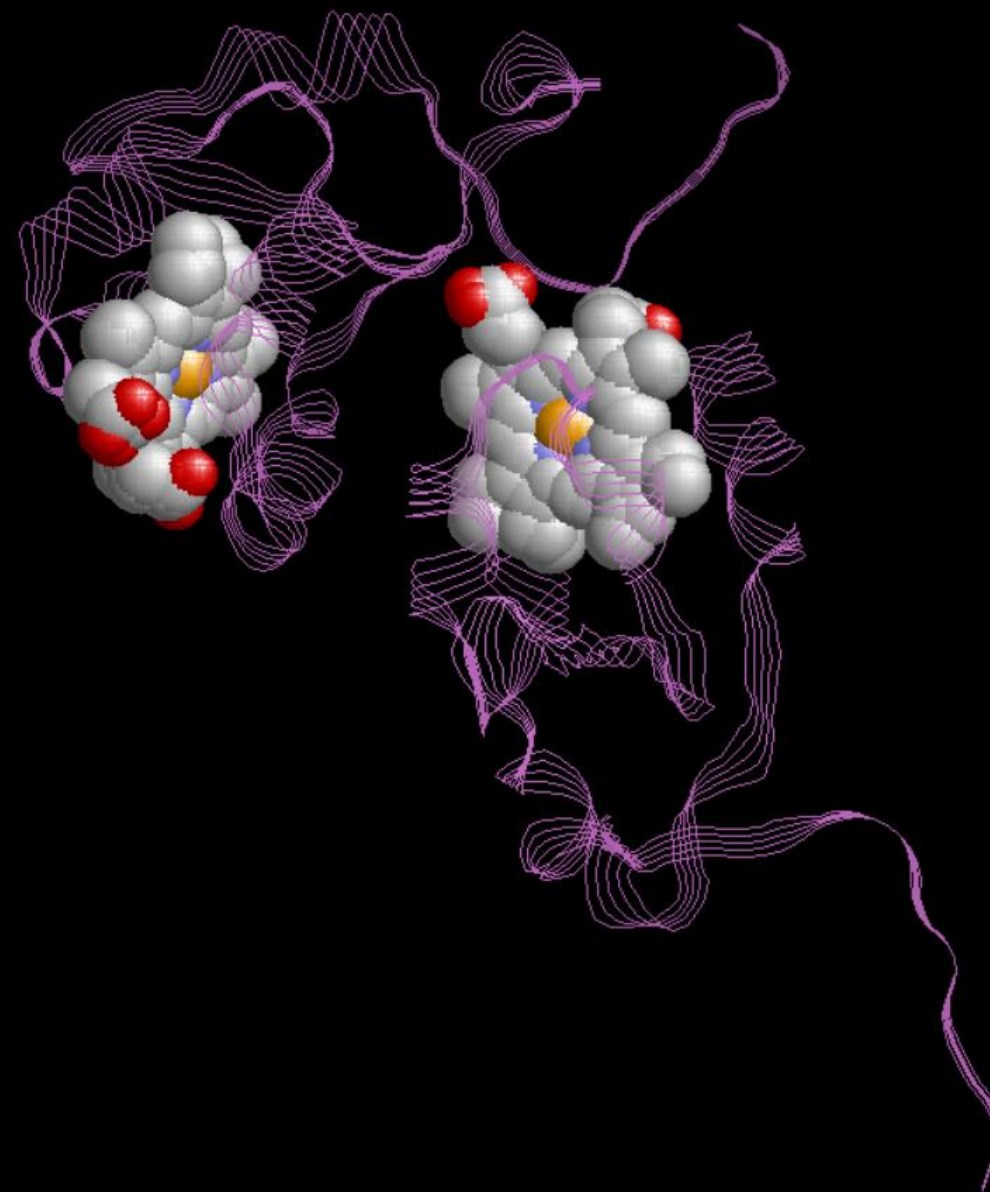
Select hem

Spacefill

Colour CPK

Referências

- BHATT, M. R.; KHATRI, Y.; RODGERS, R. J.; MARTIN, L. L. Role of cytochrome b₅ in the modulation of the enzymatic activities of cytochrome P450 17 α -hydroxylase/17,20-lyase (P450 17A1). **J. Steroid. Biochem. Mol. Biol.**, v. 170, p. 2-18, 2017 Jun. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960076016300474>. Acesso em: 14 fev. 2026.
- TERZYAN, S.; ZHANG, C.; RIVERA, M.; BENSON, D. B. **Structure of human type b cytochrome b₅**. 2023 Sep. 06. Disponível em: <https://www.rcsb.org/structure/3NER>. Acesso em: 15 fev. 2026.



2. Citocromo c

Localizado na membrana mitocondrial interna, realiza transporte de elétrons na cadeia respiratória. Em outras regiões da célula, participa da apoptose, condensação da cromatina e interrompe a montagem no nucleossomo (Zhou *et al.*, 2024). Ao o lado, o citocromo c humano está no Modo *Wireframe* em dourado e o grupo heme no Modo *Spacefill* no Modo de cores CPK, usando o arquivo 1J3S.pdb (Jeng *et al.*, 2024).

Script

Load 1J3S.pdb

Wireframe off

*Select */1*

Wireframe

Colour gold

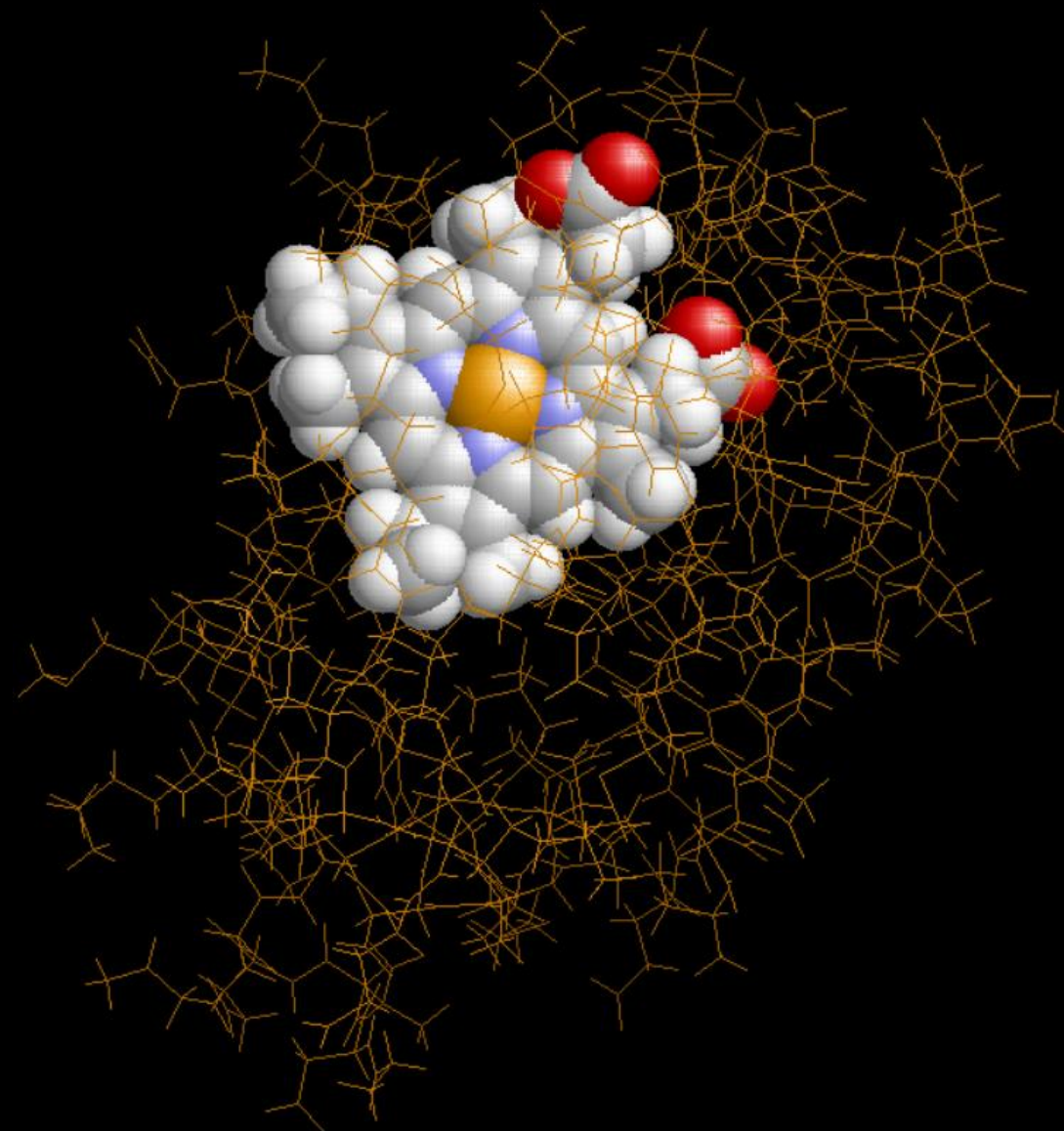
Select hec/1

Spacefill

Colour CPK

Referências

- JENG, W.Y.; SHIU, J. H.; TSAI, Y. H.; CHUANG, W. J. **Solution Structure of Reduced Recombinant Human Cytochrome c**. 2024 Oct. 30. Disponível em: <https://www.rcsb.org/structure/5XTE>. Acesso em: 16 fev. 2026.
- ZHOU, Z.; ARROUM, T.; LUO, X.; KANG, R.; LEE, Y. J.; TANG, D.; HÜTTEMANN, M.; SONG, X. Diverse functions of cytochrome c in cell death and disease. **Cell Death Differ.**, v. 31, n. 4, p. 387-404, 2024 Apr. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11043370/>. Acesso em: 15 fev. 2026.



3. Citocromo P450

Está localizado na membrana do retículo endoplasmático liso dos hepatócitos, onde participa da metabolização de fármacos, toxinas e substâncias endógenas como hormônios esteroides, ácidos biliares e vitamina D3 (Zhao *et al.*, 2021). Na figura ao lado, observa-se o citocromo P450 humano no Modo *Cartoons 50* em laranja com doze grupos heme no Modo *Spacefill* no modo de cores CPK, usando o arquivo 5VEU.pdb (Hsu; Johnson, 2023).

Script

Load 5VEU.pdb

Cartoons 50

Colour orange

Select hem

Spacefill

Colour CPK

Referências

HSU, M. H.; JOHNSON, E. F. **Human cytochrome P450 3A5 (CYP3A5)**. 2023 Oct. 04.

Disponível em: <https://www.rcsb.org/structure/5VEU>. Acesso em: 19 fev. 2026.

ZHAO, M.; MA, J.; LI, M.; ZHANG, Y.; JIANG, B.; ZHAO, X.; HUAI, C.; SHEN, L.;

ZHANG, N.; HE, L.; QIN, S. Cytochrome P450 enzymes and drug metabolism in humans. **Int. J. Mol. Sci.**, v. 22, n. 23, p. 12808, 2021 Nov. 26. Disponível em:

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8657965/>. Disponível em: 15 fev. 2026.



4. Complexo II

Corresponde a um complexo proteico funcional que está relacionado a duas vias metabólicas importantes na produção de energia: o ciclo de Krebs e a cadeia transportadora de elétrons (Du *et al.*, 2023). Na figura ao lado, observa-se o complexo II humano no Modo *Ribbons 100* em azul celeste com um grupo heme no Modo *Spacefill* no modo de cores CPK, usando o arquivo 8GS8.pdb (Du *et al.*, 2024).

Script

Load 8GS8.pdb

Ribbons 100

Colour skyblue

Select hem

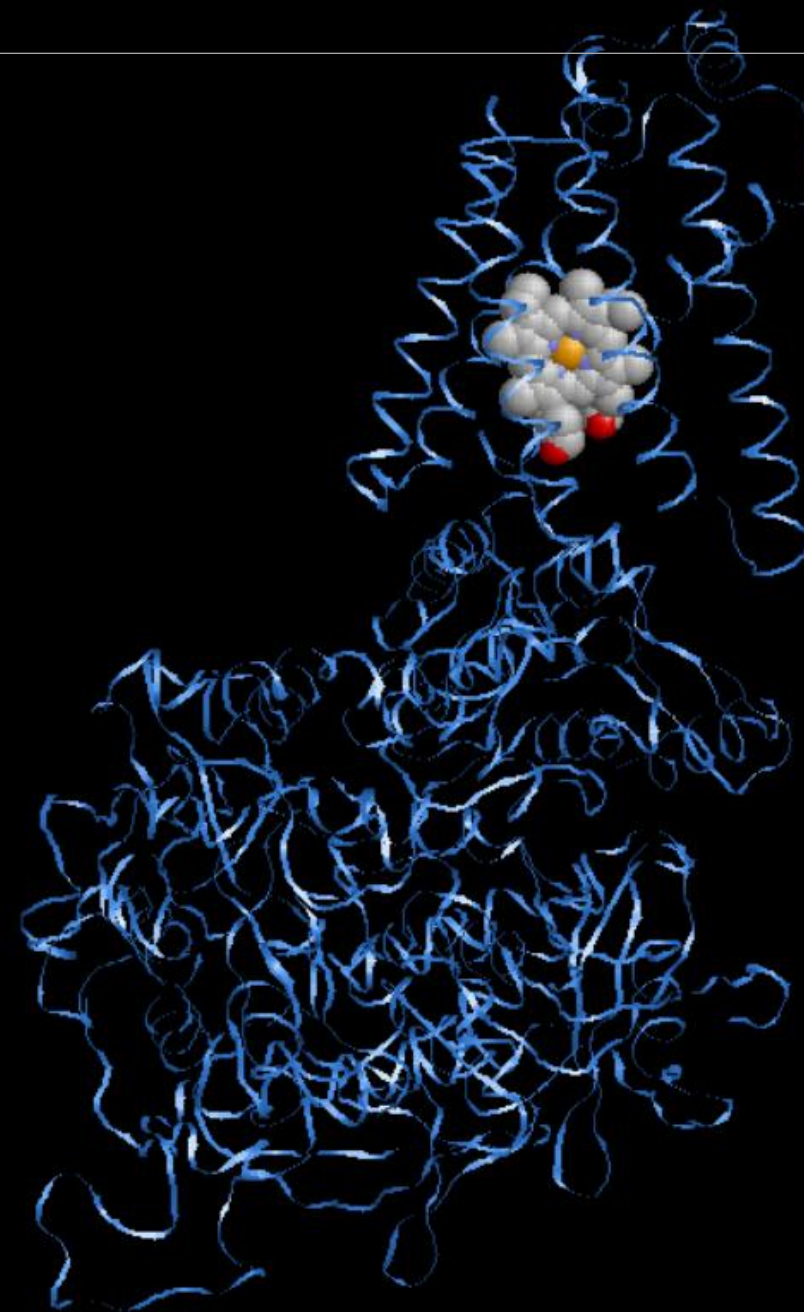
Spacefill

Colour CPK

Referências

DU, Z.; ZHOU, X.; LAI, Y.; XU, J.; ZHANG, Y.; ZHOU, S.; LIU, F.; GAO, Y.; GONG, H.;
RAO, Z. **Cryo-EM structure of the human respiratory complex II**. 2024 Jul. 03
Disponível em: <https://www.rcsb.org/structure/8GS8>. Acesso em: 01 fev. 2025.

DU, Z.; ZHOU, X.; LAI, Y.; XU, J.; ZHANG, Y.; ZHOU, S.; FENG, Z.; YU, L.; TANG, Y.;
WANG, W.; YU, L.; TIAN, C.; RAN, T.; CHEN, H.; GUDDAT, L. W.; LIU, F.; GAO, Y.;
RAO, Z.; GONG, H. Structure of the human respiratory complex II. **Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.**, v. 120, n. 18, p. e2216713120, 2023 May 2. Disponível em:
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10161127/>. Acesso em: 15 fev. 2026.



5. Complexo III

Corresponde a um megacomplexo proteico que participa da cadeia transportadora de elétrons, importante na produção de energia pelas mitocôndrias (Guo *et al.*, 2023). Na figura ao lado, observa-se o complexo III humano no Modo *Backbone* em púrpura com quatro grupos heme no Modo *Spacefill* no modo de cores CPK, usando o arquivo 5XTE.pdb (Gu *et al.*, 2023).

Script

Load 5XTE.pdb

Backbone

Colour purple

Select hem

Spacefill

Colour CPK

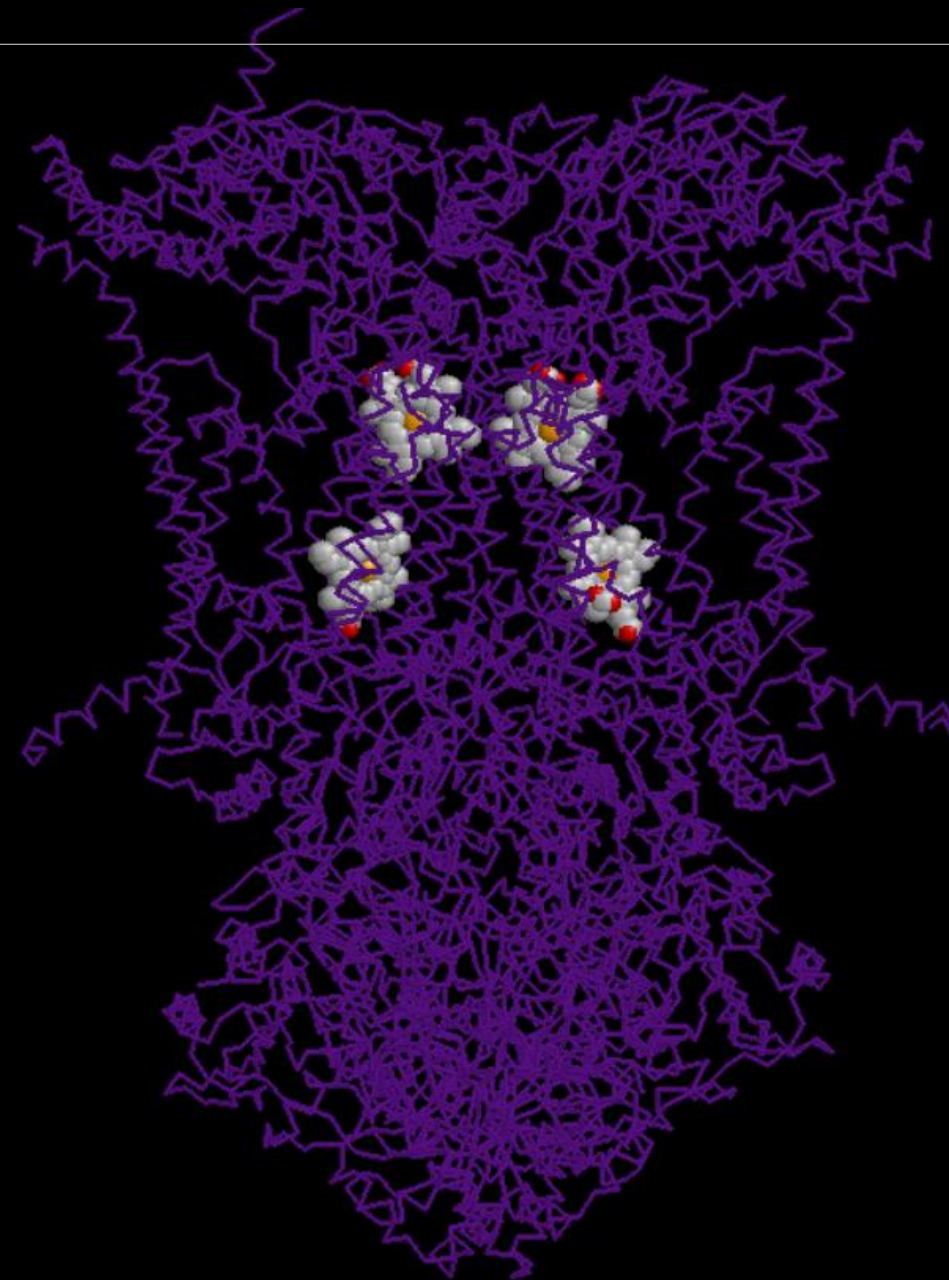
Referências

GU, J.; WU, M.; YANG, M. **Cryo-EM structure of human respiratory complex III (cytochrome bc1 complex)**. 2019 Nov. 20. Disponível em:

<https://www.rcsb.org/structure/5XTE>. Acesso em: 16 fev. 2026.

GUO, R.; ZONG, S.; WU, M.; GU, J.; YANG, M. Architecture of human mitochondrial respiratory megacomplex I2III2IV2. *Cell*, v. 170, n. 6, p. 1247-57.e12, 2017 Sep. 7.

Disponível em: [https://www.cell.com/cell/fulltext/S0092-8674\(17\)30887-5](https://www.cell.com/cell/fulltext/S0092-8674(17)30887-5). Acesso em: 15 fev. 2026.



6. Complexo IV

Corresponde a enzima terminal da cadeia transportadora de elétrons, fase importante do metabolismo da glicose em mitocôndrias (Zong *et al.*, 2018). Na figura ao lado, observa-se o complexo IV humano no Modo *Spacefill* 75 em laranja avermelhado com dois grupos heme no Modo *Spacefill* 600 no modo de cores CPK, usando o arquivo 5Z62.pdb (Gu *et al.*, 2019).

Script

Load 5Z62.pdb

Spacefill 75

Colour redorange

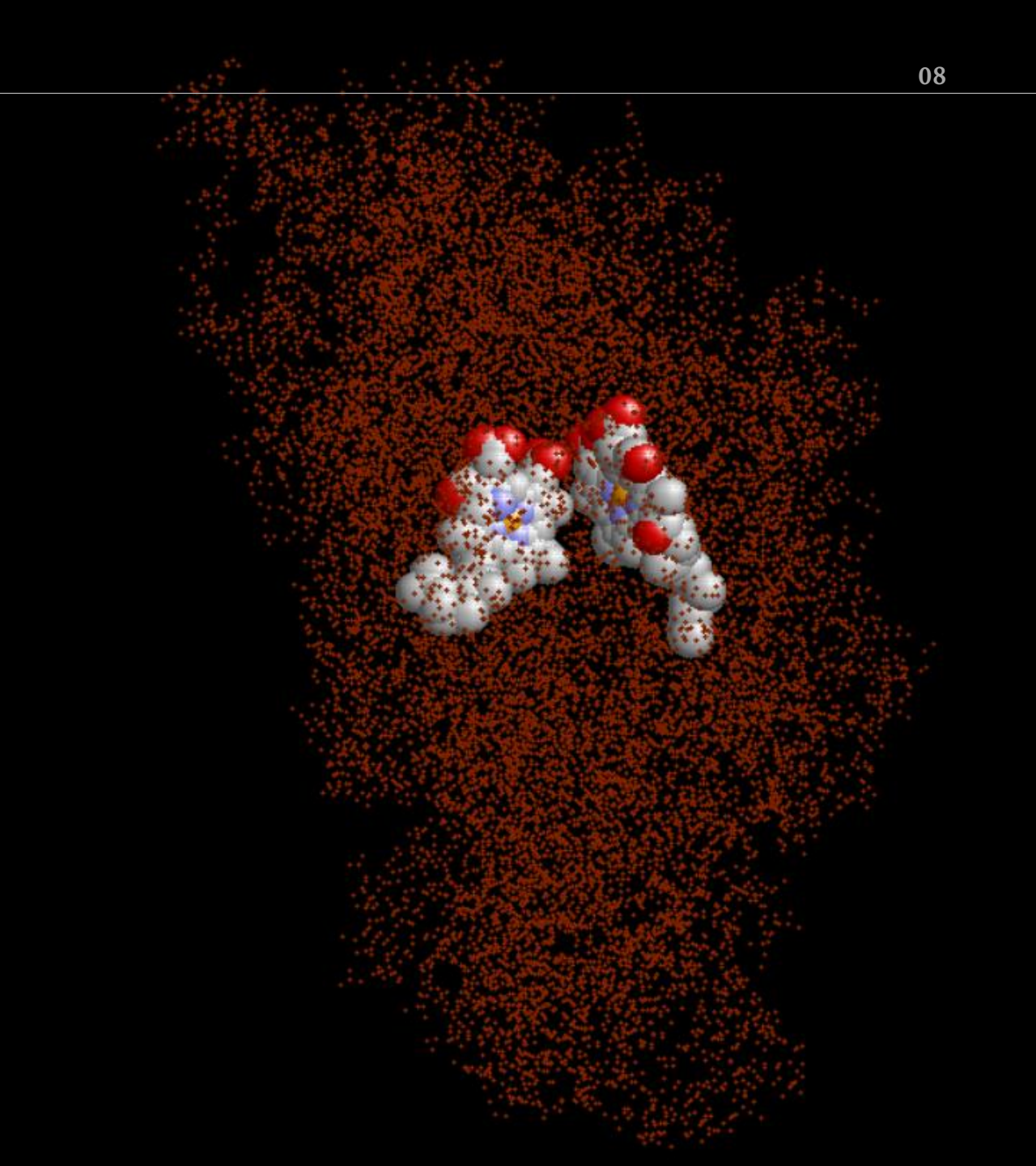
Select hea

Spacefill 600

Colour CPK

Referências

- GU, J.; ZONG, S.; WU, M.; YANG, M. **Structure of human cytochrome c oxidase**. 2019 Feb. 27. Disponível em: <https://www.rcsb.org/structure/5Z62>. Acesso em: 17 fev. 2026.
- ZONG, S.; WU, M.; GU, J.; LIU, T.; GUO, R.; YANG, M. Structure of the intact 14-subunit human cytochrome c oxidase. **Cell Res.**, v. 28, n. 10, p. 1026-34, 2018 Oct. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6170408/>. Acesso em: 15 fev. 2026.



The background features a detailed wireframe representation of a protein structure, likely a hemoglobin molecule, showing its complex folding and helical patterns. Superimposed on this are four heme groups, each depicted as a cluster of spheres representing atoms, with a central dark sphere indicating the iron atom. The overall image is in grayscale, emphasizing the structural details.

ATLAS DE HEMEPROTEÍNAS

GRUPO II

Hemeproteínas que realizam ligação com gases

Grupo II

Neste segundo grupo estão as hemeproteínas que possuem como principal função o transporte e o armazenamento de gases, incluindo o oxigênio, que é essencial para a respiração celular. Como principais exemplos estão a citoglobina, mioglobina, hemoglobina e a neuroglobina (Ferreira *et al.*, 2025).

Referências

FERREIRA, A. C.; HASSUNUMA, R. M.; GARCIA-BONICHINI, P. C.; MESSIAS, S. H. N. Hemeproteínas humanas como modelo para localização de grupamentos químicos em programa gratuito de simulação computacional de biomoléculas. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, v. 6, n. 2, p. 31-44, 2025. Disponível em: <https://editoraintegrar.com.br/publish/index.php/rema/article/view/4559>. Acesso em: 13 fev. 2026.

1. Citoglobina

É uma hemeproteína importante no armazenamento e transporte de oxigênio em diferentes tipos de tecidos (Novientri; Sadikin; Jusman, 2022). Na figura ao lado, observa-se a citoglobina humana no Modo *Ribbons 100* em verde matiz e dois grupo heme no Modo *Spacefill* no modo de cores CPK, usando o arquivo 3RGK.pdb (De Sanctis *et al.*, 2024).

Script

Load 1UMO.pdb

Ribbons 100

Colour greentint

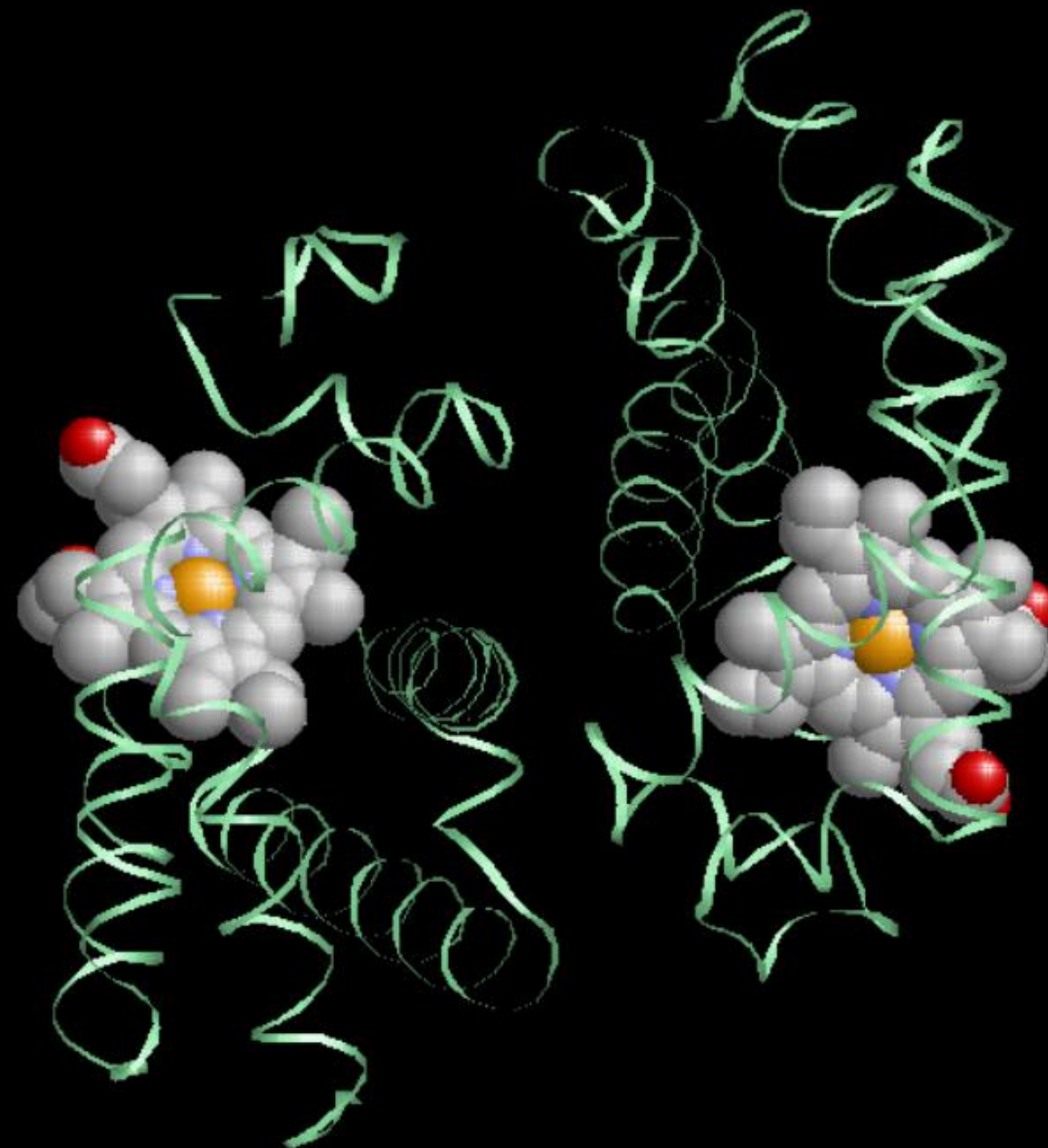
Select hem

Spacefill

Colour CPK

Referências

- DE SANCTIS, D.; DEWILDE, S.; PESCE, A.; MOENS, L.; ASCENZI, P.; HANKELN, T.; BURMESTER, T.; BOLOGNESI, M. **The crystal structure of cytoglobin: the fourth globin type discovered in man.** 2024 May. 08. Disponível em: <https://www.rcsb.org/structure/1UMO>. Acesso em: 18 fev. 2026.
- NOVIENTRI, G.; SADIKIN, M.; JUSMAN, S. W. Isolated diaphorase from bovine erythrocyte cannot reduce oxidized cytoglobin (metcygb). **Rep. Biochem. Mol. Biol.**, v. 11, n. 2, p. 289-98, 2022 Jul. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9455195/>. Acesso em: 18 fev. 2026.



2. Mioglobina

Desempenha uma importante função de reserva e transporte de oxigênio em células musculares (Hsia, 2023). Na figura ao lado, observa-se a mioglobina humana no Modo *Wireframe* em verde e um grupo heme no Modo *Spacefill* no modo de cores CPK, usando o arquivo 3RGK.pdb (Hubbard *et al.*, 1990).

Script

Load 3RGK.pdb

Wireframe

Colour green

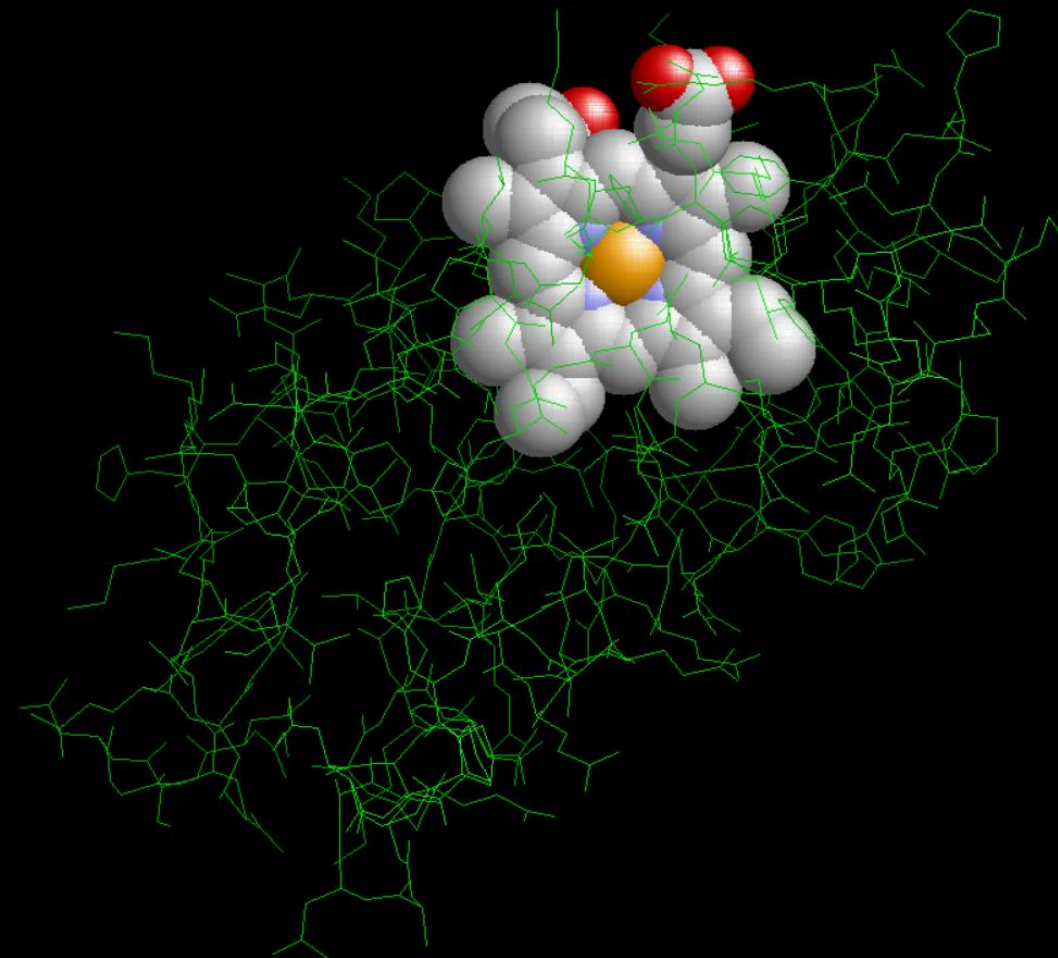
Select hem

Spacefill

Colour CPK

Referências

- HSIA, C. C. W. Tissue perfusion and diffusion and cellular respiration: transport and utilization of oxygen. **Semin. Respir. Crit. Care Med.**, v. 44, n. 5, p. 594-611, 2023 Oct. Disponível em: <https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/abstract/10.1055/s-0043-1770061>. Acesso em: 05 fev. 2025.
- HUBBARD, S. R.; HENDRICKSON, W. A.; LAMBRIGHT, D. G; BOXER, S. G. X-ray crystal structure of a recombinant human myoglobin mutant at 2.8 Å resolution. **J. Mol. Biol.**, v. 213, n. 2, p. 215-8, 1990 May 20. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022283605801810>. Acesso em: 13 fev. 2026.



3. Hemoglobina

É uma proteína importante para o transporte de oxigênio no interior das hemácias (Hsia, 2023). Na figura ao lado, observa-se uma molécula de hemoglobina humana no Modo *Strands* em vermelho e os quatro grupos heme no Modo *Spacefill* no modo de cores CPK, usando o arquivo 2HHB.pdb (Fermi; Perutz, 2024).

Script

Load 2HHB.pdb

Strands

Colour red

Select hem

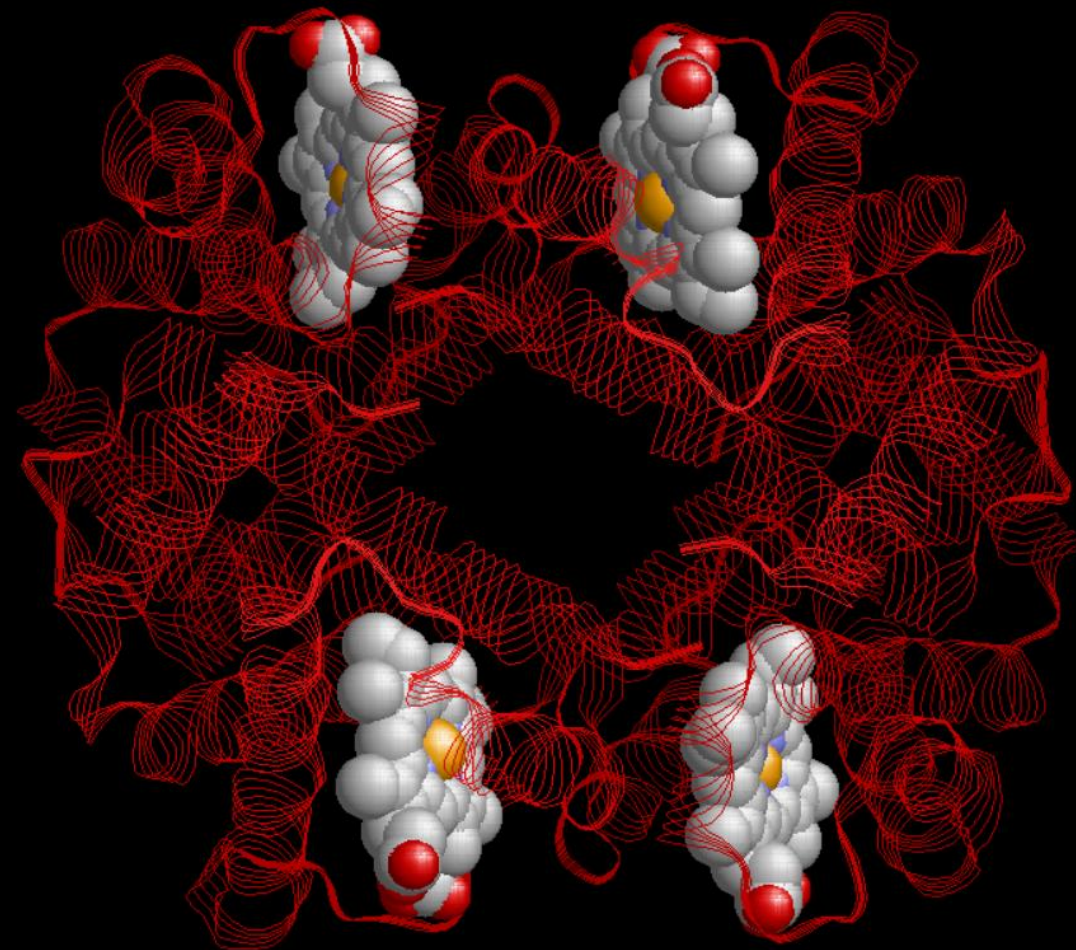
Spacefill

Colour CPK

Referências

FERMI, G.; PERUTZ, M. F. **The crystal structure of human deoxyhaemoglobin at 1.74 angstroms resolution.** 2024 May 29. Disponível em: <https://www.rcsb.org/structure/2HHB>. Acesso em: 11 fev. 2026.

HSIA, C. C. W. Tissue perfusion and diffusion and cellular respiration: transport and utilization of oxygen. **Semin. Respir. Crit. Care Med.**, v. 44, n. 5, p. 594-611, 2023 Oct. Disponível em: <https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/abstract/10.1055/s-0043-1770061>. Acesso em: 05 fev. 2026.



4. Neuroglobina

Esta proteína desempenha sua função transportando oxigênio no interior de neurônios (Ramli *et al.*, 2024). Na figura ao lado, observa-se uma molécula de neuroglobina humana no Modo *Backbone* em azul matiz e os quatro grupos heme no Modo *Spacefill* no modo de cores CPK, usando o arquivo 1OJ6.pdb (Pesce *et al.*, 2024).

Script

Load 1OJ6.pdb

Backbone 65

Colour bluetint

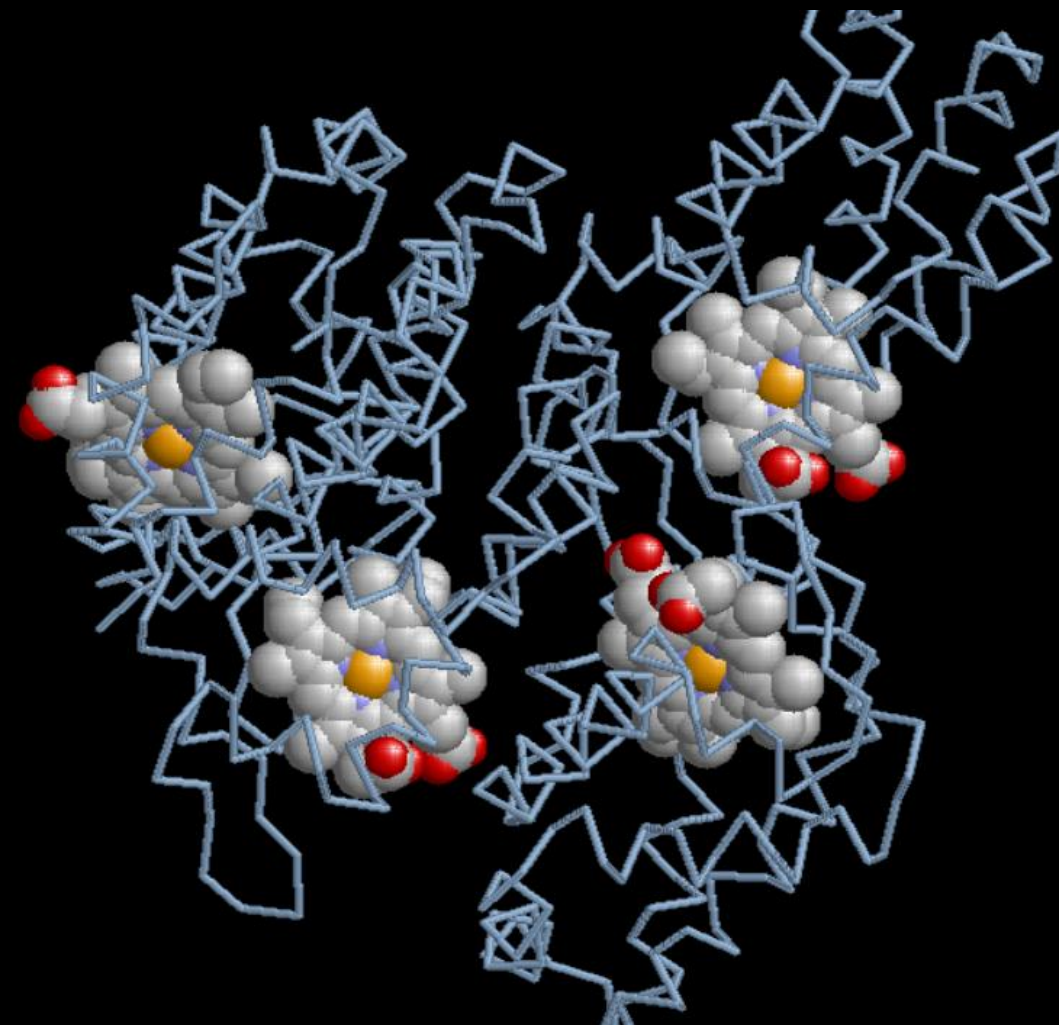
Select hem

Spacefill

Colour CPK

Referências

- RAMLI, Y.; RUSDI, F.; KURNIAWAN, M.; SADIKIN, M.; EVELYN, F. Outcome of ischemic stroke at six months with neuroglobin as a marker. **Innov. Clin. Neurosci.**, v. 21, n. 10, p. 38-43, 2024 Dec. 1. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11709442/>. Acesso em: 14 fev. 2026.
- PESCE, A.; DEWILDE, S.; NARDINI, M.; MOENS, L.; ASCENZI, P.; HANKELN, T.; BURMESTER, T.; BOLOGNESI, M. **Human brain neuroglobin three-dimensional structure**. 2024 May. 08. Disponível em: <https://www.rcsb.org/structure/1OJ6>. Acesso em: 14 fev. 2026.



The background features a detailed wireframe representation of a protein structure, likely a hemoprotein, with four heme prosthetic groups. Each heme group is depicted as a cluster of spheres, with one sphere in each cluster highlighted in a darker shade to represent the central iron atom. The protein backbone is shown as a complex network of loops and helices, rendered in a light gray wireframe style.

ATLAS DE HEMEPROTEÍNAS

GRUPO III

Hemeproteínas relacionadas à decomposição de peróxidos

Grupo III

Este grupo está formado por hemeproteínas capazes de realizar a decomposição de peróxidos. Alguns exemplos são a catalase, mieloperoxidase e a peroxidase (Ferreira *et al.*, 2025).

Referências

FERREIRA, A. C.; HASSUNUMA, R. M.; GARCIA-BONICHINI, P. C.; MESSIAS, S. H. N. Hemeproteínas humanas como modelo para localização de grupamentos químicos em programa gratuito de simulação computacional de biomoléculas. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, v. 6, n. 2, p. 31-44, 2025. Disponível em: <https://editoraintegrar.com.br/publish/index.php/rema/article/view/4559>. Acesso em: 13 fev. 2026.

1. Catalase

É uma enzima capaz de converter o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em água e oxigênio (Nandi *et al.*, 2019). Na figura ao lado, observa-se a catalase humana no Modo *Cartoons 100* em verde mar e um grupo heme no Modo *Spacefill* no modo de cores CPK, usando o arquivo 1F4J.pdb (Safo *et al.*, 2024).

Script

Load 1F4J.pdb

Cartoons 100

Colour seagreen

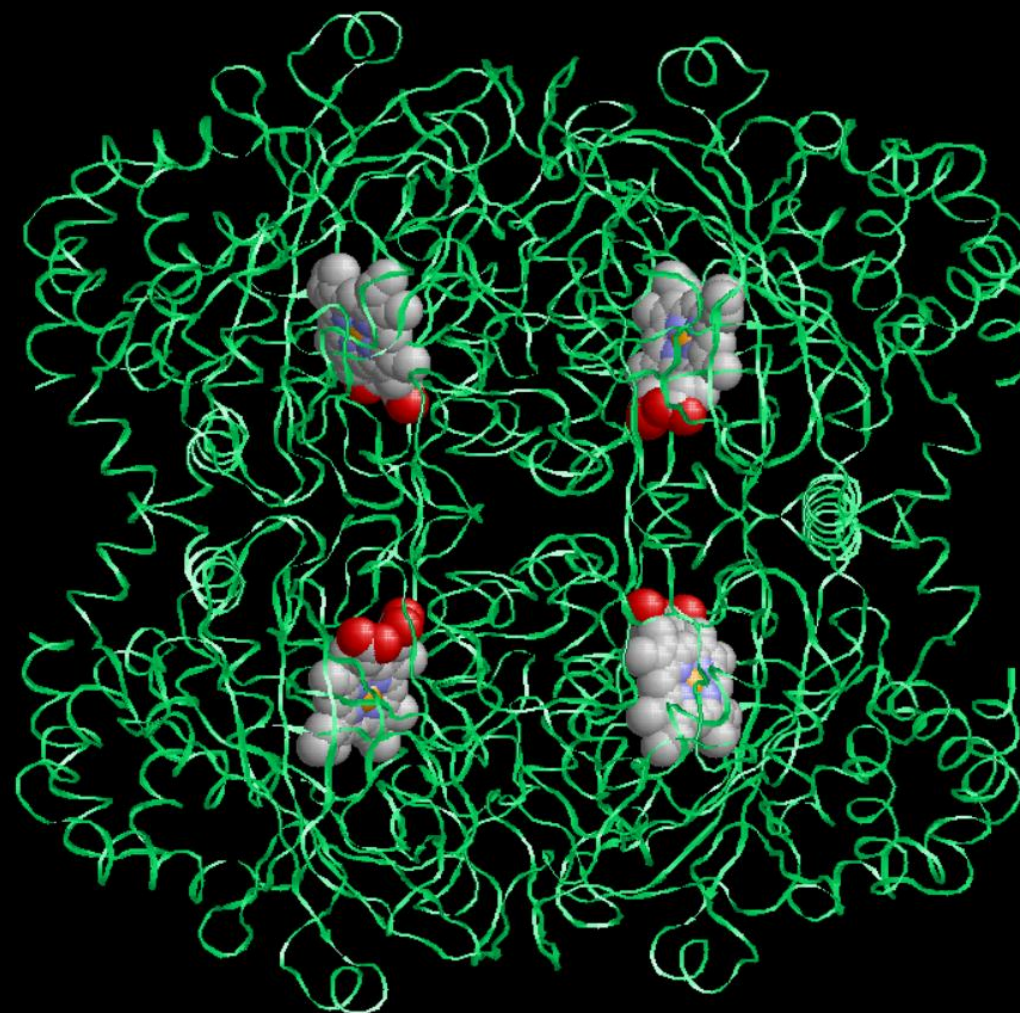
Select hem

Spacefill 500

Colour CPK

Referências

- NANDI, A.; YAN, L.; JANA, C. K.; DAS, N. Role of catalase in oxidative stress- and age-associated degenerative diseases. **Oxid. Med. Cell Longev.**, v. 2019, p. 9613090, 2019 Oct. 11. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6885225/>. Acesso em: 16 fev. 2026.
- SAFO, M. K.; MUSAYEV, F. N.; WU, S. H.; ABRAHAM, D. J.; KO, T. P. **Structure of tetragonal crystals of human erythrocyte catalase.** 2024 Feb. 07. Disponível em: <https://www.rcsb.org/structure/1F4J>. Acesso em: 16 fev. 2026.



2. Mieloperoxidase

Corresponde à enzima mais tóxica encontrada nos grânulos azurófilos dos neutrófilos. Converte o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em ácido hipocloroso (HClO) capaz de destruir patógenos em infecções (Strzepa; Pritchard; Dittel, 2017). Na figura ao lado, observa-se a mieloperoxidase humana no Modo *Backbone* em azul e um grupo heme no Modo *Spacefill* no modo de cores CPK, usando o arquivo 3F9P.pdb (Carpena; Fita; Obinger, 2024).

Script

Load 3F9P.pdb

Backbone

Colour blue

Select hem

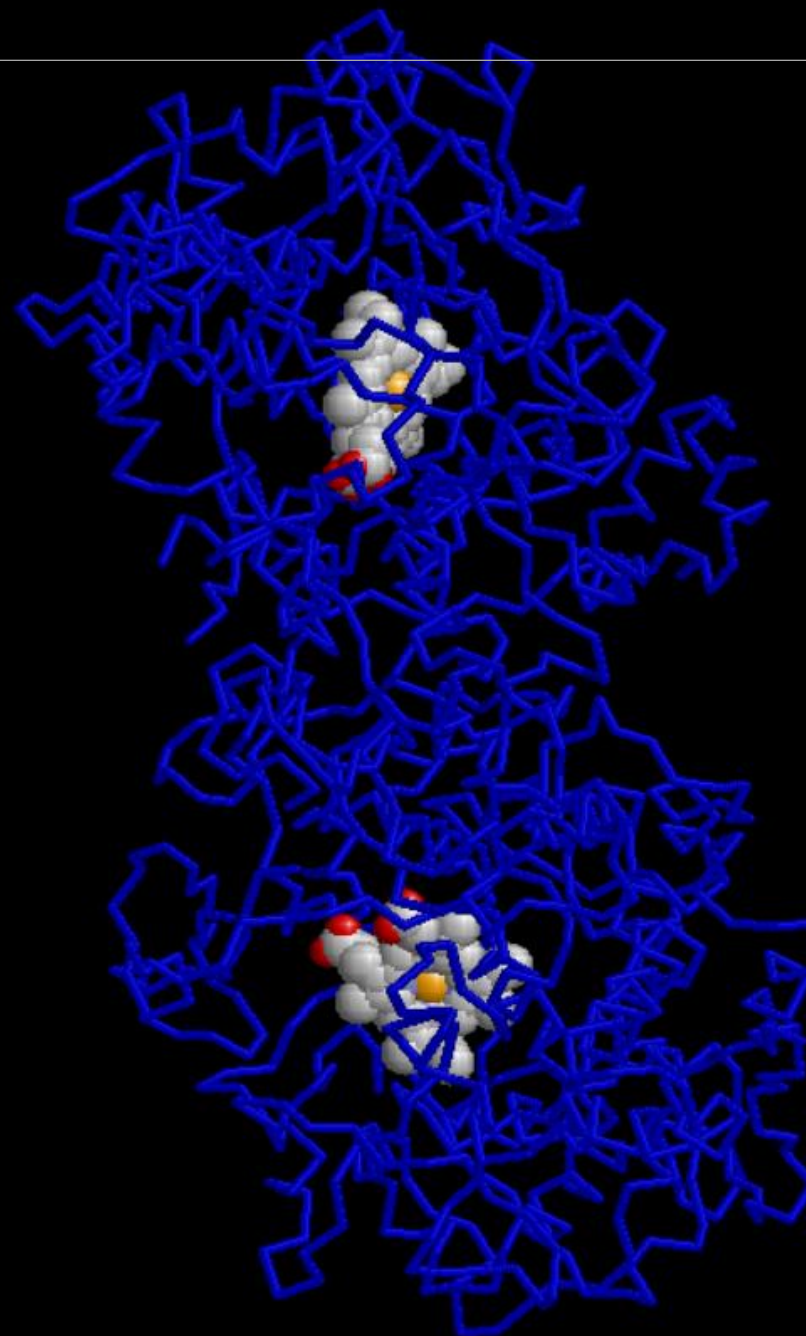
Spacefill

Colour CPK

Referências

CARPENA, X.; FITA, I.; OBINGER, C. **Crystal structure of myeloperoxidase from human leukocytes**. 2024 Dec. 25. Disponível em: <https://www.rcsb.org/structure/3F9P>. Acesso em: 15 fev. 2026.

STRZEPA, A.; PRITCHARD, K. A.; DITTEL, B. N. Myeloperoxidase: A new player in autoimmunity. **Cell. Immunol.**, v. 317, p. 1-8, 2017 May 10. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008874917300680>. Acesso em: 15 fev. 2026.



3. Peroxidase

Corresponde a uma enzima capaz de converter o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em água (Oliveira; Santos; Buffon, 2023). Na figura ao lado, observa-se a peroxidase humana no Modo *Strands* em rosa matiz e um grupo heme no Modo *Spacefill* no modo de cores CPK, usando o arquivo 3OGI.pdb (Pfanzagl; Obinge, 2024).

Script

Load 3OGI.pdb

Strands

Colour pinktint

Select heb

Spacefill

Colour CPK

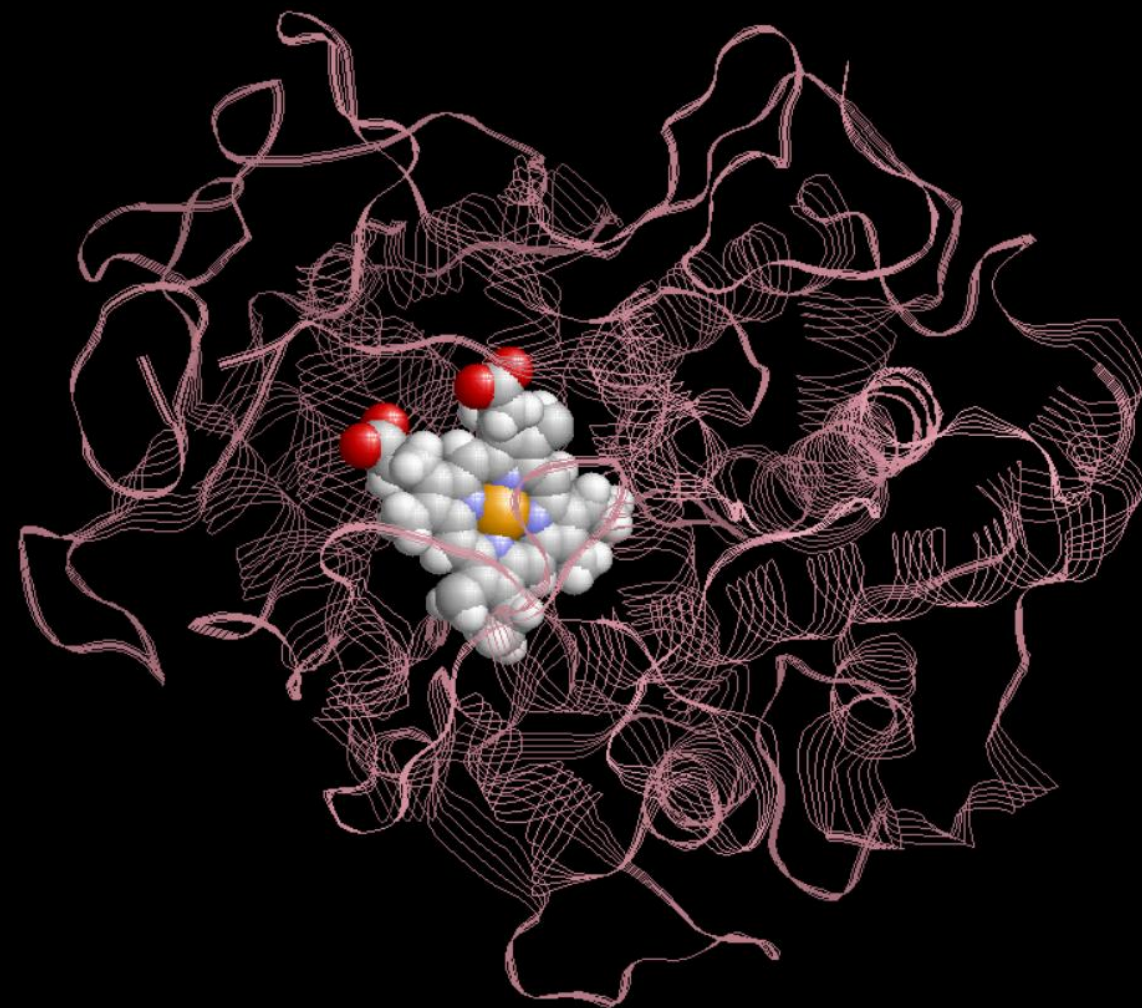
Referências

OLIVEIRA, F. K.; SANTOS, L. O.; BUFFON, J. G. Mechanism of action, sources, and application of peroxidases. **Food. Res. Int.**, v. 143, p. 110266, 2021 Mar. 05.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996921001654>. Acesso em: 17 fev. 2026.

PFANZAGL, V.; OBINGER, C. **Structure of native human eosinophil peroxidase**. 2024 Oct. 23. Disponível em: <https://www.rcsb.org/structure/8OGI>. Disponível em: 17 fev. 2026.



The background features a detailed wireframe representation of a protein structure, likely a cytochrome P450, which is a member of the heme protein family. Four heme prosthetic groups are visible, each represented by a cluster of spheres (atoms) and a central dark sphere (iron atom). The protein backbone is shown as a complex network of loops and helices.

ATLAS DE HEMEPROTEÍNAS

GRUPO IV

Hemeproteínas de funções variadas

Grupo IV

Neste grupo foram alocadas todas as demais hemeproteínas que realizam outras funções além das descritas nos grupos anteriores. Como exemplo, estão a guanilato ciclase solúvel, a óxido nítrico sintase e a ciclooxigenase (Ferreira *et al.*, 2025). As principais funções de cada uma dela estão descritas a seguir.

Referências

FERREIRA, A. C.; HASSUNUMA, R. M.; GARCIA-BONICHINI, P. C.; MESSIAS, S. H. N. Hemeproteínas humanas como modelo para localização de grupamentos químicos em programa gratuito de simulação computacional de biomoléculas. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, v. 6, n. 2, p. 31-44, 2025. Disponível em: <https://editoraintegrar.com.br/publish/index.php/rema/article/view/4559>. Acesso em: 13 fev. 2026.

1. Guanilato ciclase solúvel

É uma enzima que atua como receptor de óxido nítrico (NO), participando da síntese de guanosina monofosfato cíclico (cGMP), o qual promove efeitos fisiológicos nos sistemas cardiopulmonar, vascular e neurológico (Wittenborn; Marletta, 2021). Na figura ao lado, observa-se a guanilato ciclase solúvel humana no Modo *Strands 150* em violeta e um grupo heme no Modo *Spacefill* no modo de cores CPK, usando o arquivo 6JT0.pdb (Chen *et al.*, 2024).

Script

Load 6JT0.pdb

Strands 150

Colour violet

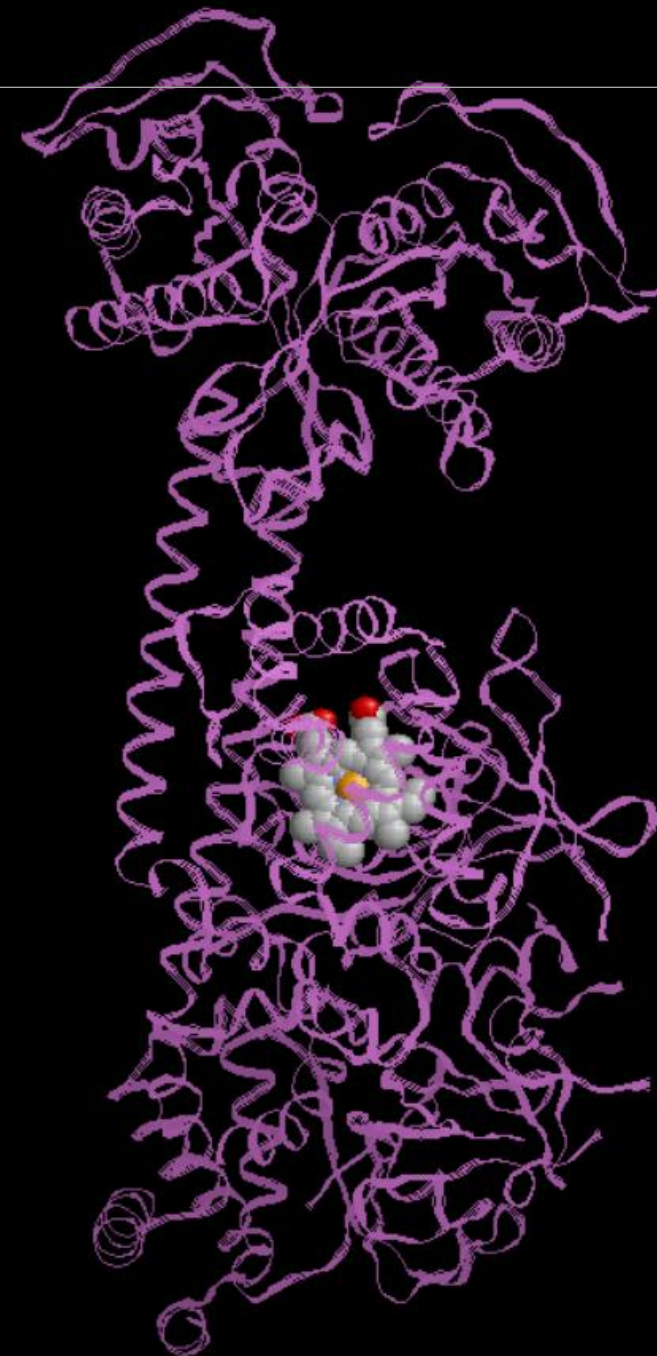
Select hem

Spacefill

Colour CPK

Referências

- CHEN, L.; KANG, Y.; LIU, R.; WU, J. X. **Structure of human soluble guanylate cyclase in the unliganded state**. 2024 Mar. 27. Disponível em: <https://www.rcsb.org/structure/6JT0>. Acesso em: 18 fev. 2026.
- WITTENBORN, E. C.; MARLETTA, M. A. Structural perspectives on the mechanism of soluble guanylate cyclase activation. **Int. J. Mol. Sci.**, v. 22, n. 11, p. 5439, 2021 May 21. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8196705/>. Acesso em: 18 fev. 2026.



2. Óxido nítrico sintase

É uma enzima que catalisa a produção de óxido nítrico, o qual participa da neurotransmissão, sinalização celular e de atividades no sistema imunológico e vascular sanguíneo (Król; Kepinska, 2020). Na figura ao lado, observa-se a enzimas óxido nítrico sintase humana no Modo *Strands* em rosa e dois grupos heme no Modo *Spacefill* no modo de cores CPK, usando o arquivo 3NOS.pdb (Fischmann; Weber, 2023).

Script

Load 3NOS.pdb

Strands

Colour pink

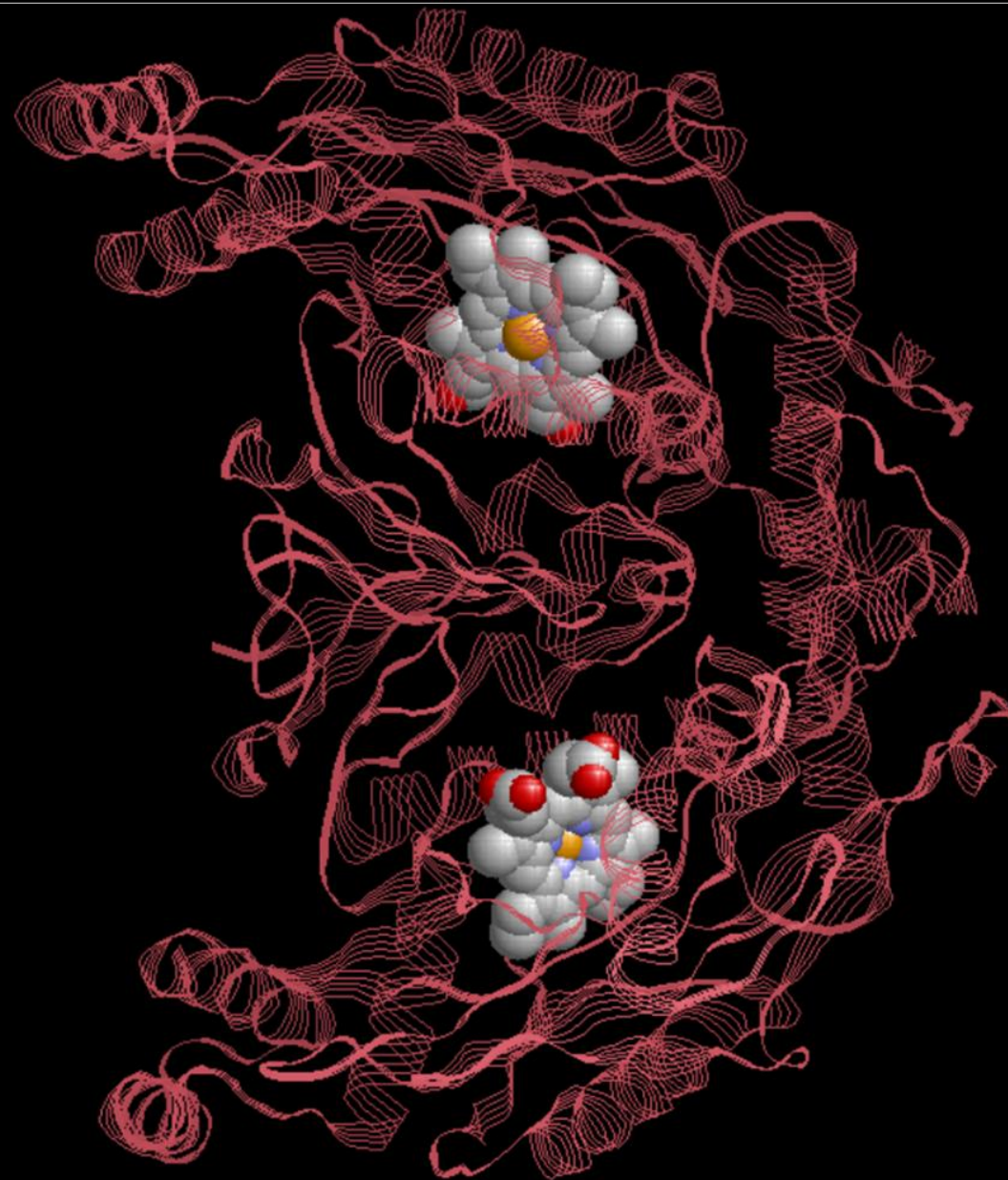
Select hem

Spacefill

Colour CPK

Referências

- FISCHMANN, T. O.; WEBER, P. C. **Human endothelial nitric oxide synthase with arginine substrate**. 2023 Dec. 27. Disponível em: <https://www.rcsb.org/structure/3NOS>. Acesso em: 19 fev. 2026.
- KRÓL, M.; KEPINSKA, M. Human nitric oxide synthase-its functions, polymorphisms, and inhibitors in the context of inflammation, diabetes and cardiovascular diseases. **Int. J. Mol. Sci.**, v. 22, n. 1, p. 56, 2020 Dec. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7793075/>. Acesso em: 19 fev. 2026.



3. Ciclooxygenases

Correspondem a uma família de enzimas que possuem funções diversas. Sua isoforma COX-2 atua na síntese de prostaglandinas, mediadores importantes da inflamação (Sharma; Sharma; Rani, 2025). Na figura ao lado, observa-se a COX-2 humana no Modo *Wireframe* em rosa quente e um grupo heme no Modo *Spacefill* no modo de cores CPK, usando o arquivo 5F19.pdb (Lucido, Orlando, Malkowski, 2024).

Script

Load 5F19.pdb

Wireframe

Colour hotpink

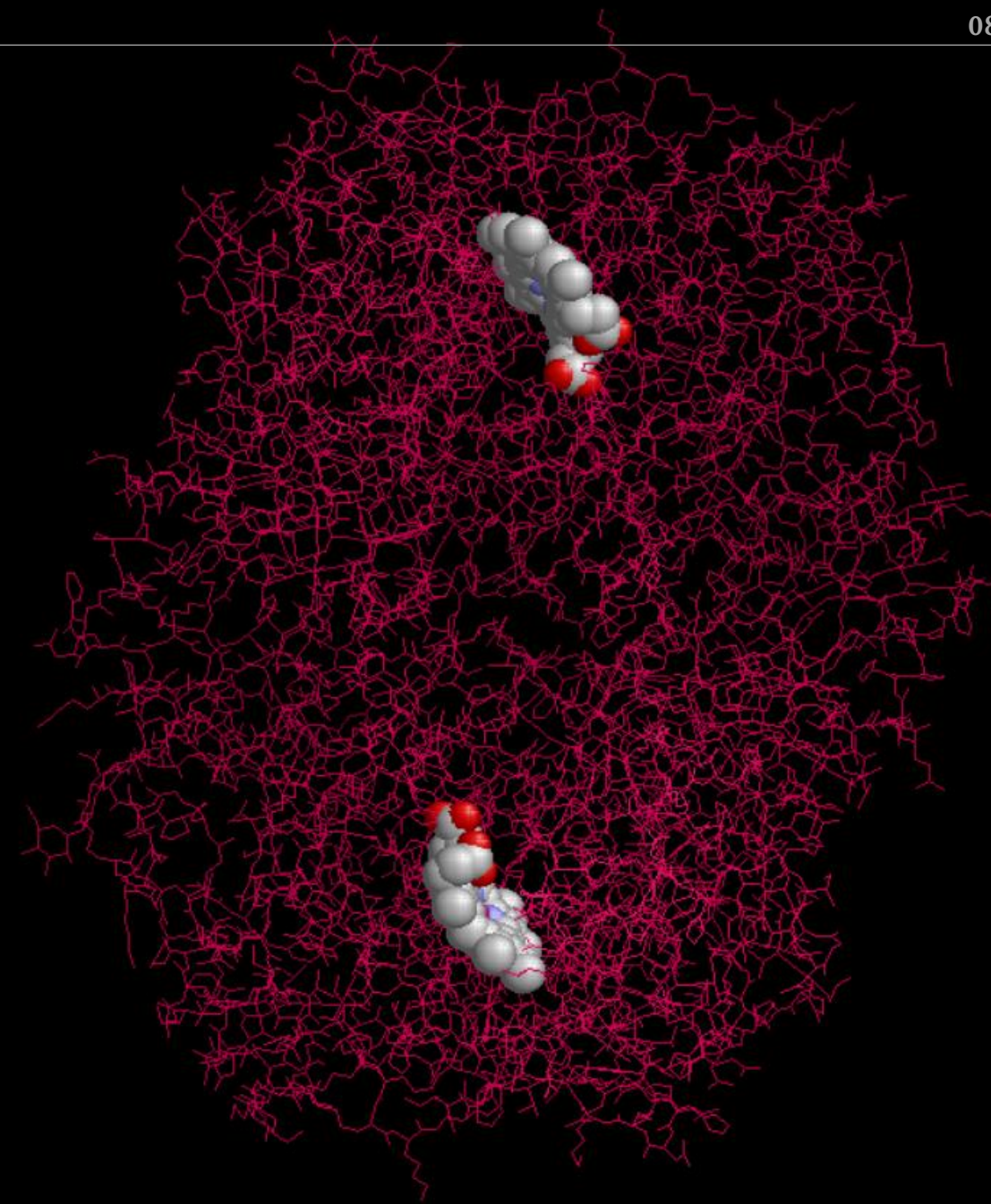
Select coh

Spacefill

Colour CPK

Referências

- LUCIDO, M. J.; ORLANDO, B. J.; MALKOWSKI, M. G. **The crystal structure of aspirin acetylated human cyclooxygenase-2**. 2024 Nov. 20. Disponível em: <https://www.rcsb.org/structure/5F19>. Acesso em: 16 fev. 2026.
- SHARMA, S.; SHARMA, P.; RANI, N. Cyclooxygenases: from prostaglandin synthesis to innovative therapies for inflammation. **Recent Adv. Inflamm. Allergy Drug Discov.**, v. 19, n. 2, p. 146-57, 2025. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40667591/>. Acesso em: 16 fev. 2026.



Esta obra foi desenvolvida durante as atividades práticas da Disciplina de Bioquímica Estrutural do Curso de Biomedicina da Universidade Paulista – UNIP / Câmpus Bauru durante o primeiro semestre de 2026.

Em cada capítulo, é possível observar a estrutura bioquímica de uma hemeproteína, sendo apresentados também sua principal função e propostas de scripts para softwares de simulação computacional de biomoléculas.

