

# Eletrofisiologia Computacional

## Volume Celular - Bomba $Na^+$ e $K^+$

Lucas Marins Ramalho de Lima  
Prof. Rodrigo Weber dos Santos

Novembro 2023

## 1 Introdução

Como apresentado em sala de aula, a bomba de  $Na^+$  e  $K^+$  é importante para o equilíbrio do volume celular. Sem ela, não seria possível controlar a entrada de água através da membrana semipermeável de fosfolipídios, causada por uma diferença de pressão osmótica entre o meio intracelular e o extracelular.

O objetivo do presente estudo, é modelar o comportamento da bomba de sódio e potássio e seus impactos em parâmetros da célula em diferentes condições iniciais.

## 2 Resultados

Para obter um estado de repouso na célula, para estabelecer comparações posteriores, utilizou-se os seguintes valores para cada uma das variáveis das equações apresentadas:

Símbolo	Definição	Valor	Unidade
F	Constante de Faraday	96490	$C.mol^{-1}$
$a_i$	Razão volume interno/externo	Variável	#
$[Na^+]$	Concentração de sódio intra (i) e extracelular (e)	$[Na^+]_e = 155$	$mol.m^{-3}$
$[K^+]$	Concentração de potássio intra (i) e extracelular (e)	$[K^+]_e = 5$	$mol.m^{-3}$
$I_{Na}, I_K$	Correntes de sódio e de potássio	Variável	$A.m^{-2}$
$I_{NaK}$	Corrente induzida pela bomba de sódio e potássio	Variável	$A.m^{-2}$
$I_{max}$	Taxa da bomba	0.13	$A.m^{-2}$
$\gamma$	Razão área/volume	$6.41025641 \times 10^{-5}$	$m^{-1}$
$K_{Na}, K_K$	Saturação de sódio e saturação de potássio	$K_{Na} = 7.7, K_K = 2$	$mol.m^{-3}$
$\eta_w$	Fluidez da membrana	$1.7 \times 10^{-7}$	$s^{-1}.Pa^{-1}.m$
p	Pressão intra (i) e extracelular (e)	$p_e = -266.64$	Pa
R	Constante universal dos gases	8.315	$m^3.Pa.K^{-1}.mol^{-1}$
T	Temperatura	310	K
$\frac{X_i}{w_i}$	Qtd de proteínas meio intracelular por vol	17.39130434	$mol.m^{-3}$
S	Rigidez da membrana por comprimento	1	Pa
V	Potencial da membrana	Variável	V
Cm	Capacitância da Célula	$1.0 \times 10^{-2}$	$F.m^{-2}$
$g_{Na}$	Condutância do Sódio	0.2505459082892031	$S.m^{-2}$
$g_K$	Condutância de Potássio	1.404092733028937	$S.m^{-2}$

Table 1: Parâmetros utilizados no modelo matemático para situação de equilíbrio na célula com suas respectivas unidades de medida.

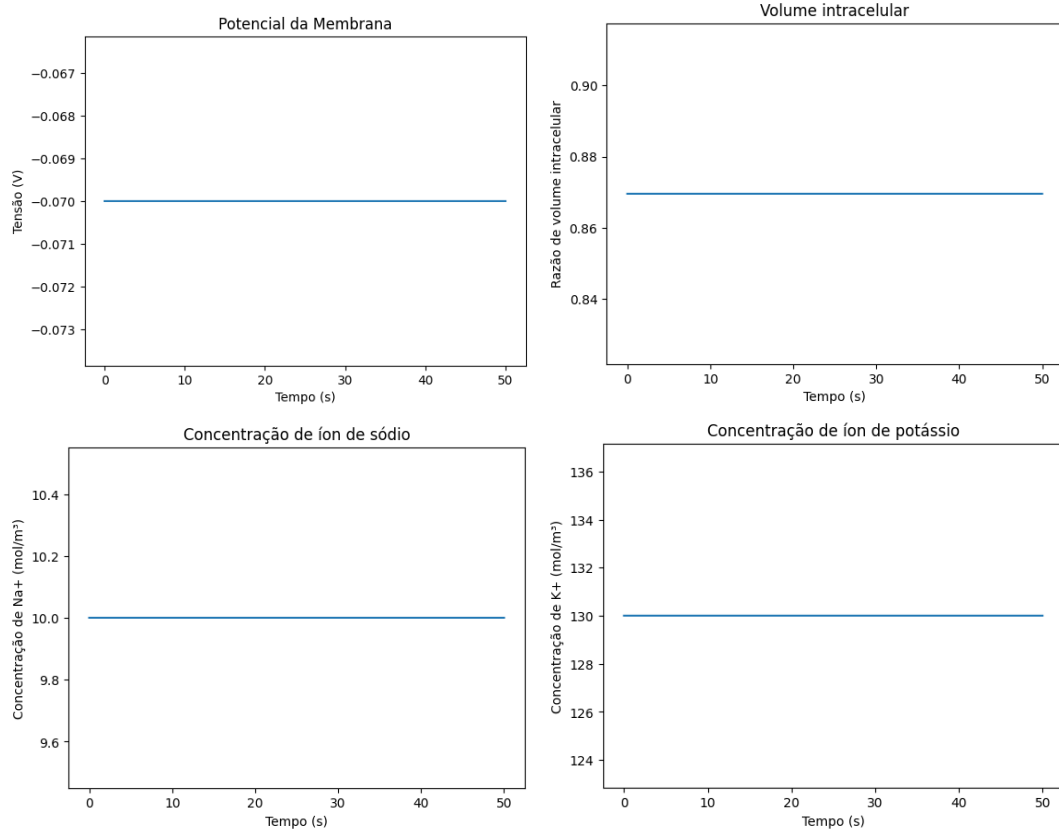


Figure 1: Resultados obtidos em estado de repouso, com condições iniciais  $[Na^+]_i^0 = 10.0 \text{ mol.m}^{-3}$ ,  $[K^+]_i^0 = 130.0 \text{ mol.m}^{-3}$ ,  $V^0 = -0.07V$ ,  $p_i^0 = p_e$  e  $a_i^0 = 0.869565217$

Como esperado, o comportamento de todas as variáveis analisadas é linear. Demonstrando que as taxas de saída e entrada de água e íons se equilibram de modo a resultar um potencial e um volume constante na célula.

Se aumentar a taxa da bomba de  $I_{max} = 0.13$  para  $I_{max} = 1$ , e manter-se os demais valores como na Tabela 1. Temos o seguinte resultado:

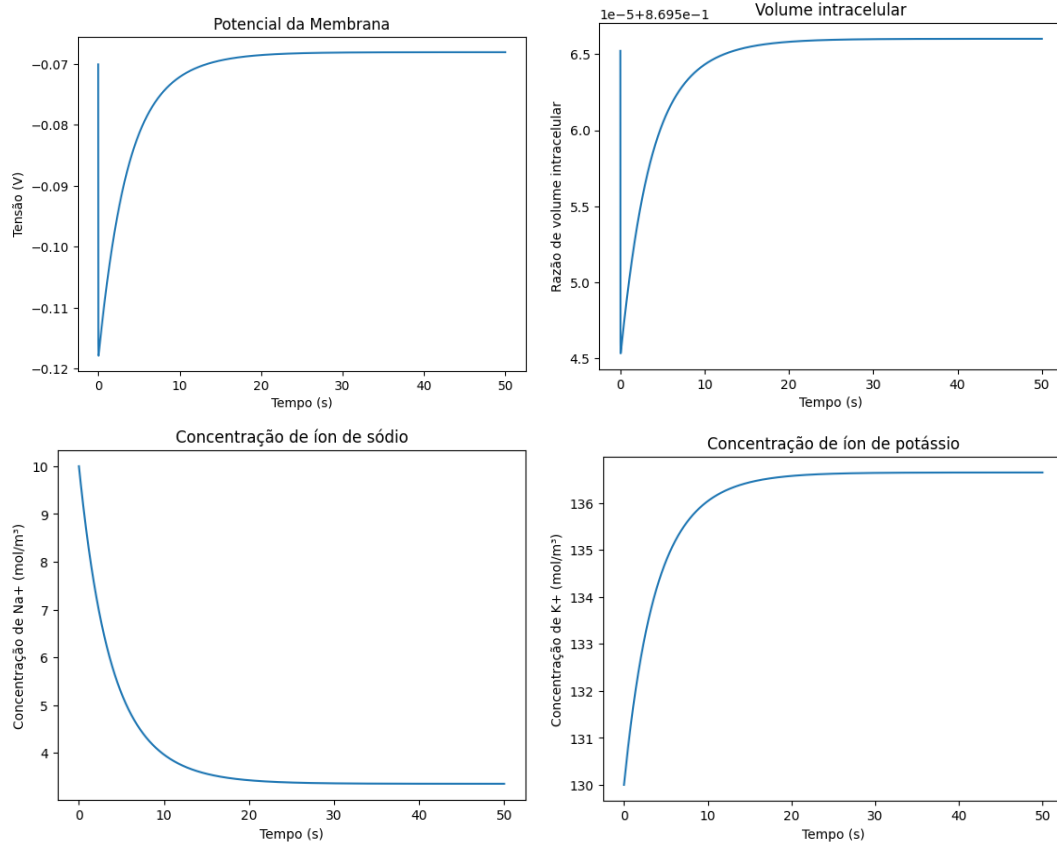


Figure 2: Resultados obtidos com a taxa de bomba  $I_{max} = 1$ , com condições iniciais  $[Na^+]_i^0 = 10.0 mol.m^{-3}$ ,  $[K^+]_i^0 = 130.0 mol.m^{-3}$ ,  $V^0 = -0.07V$ ,  $p_i^0 = p_e$  e  $d_i^0 = 0.869565217$

Observa-se que com o aumento da taxa da bomba de sódio e potássio, as concentrações de íons de sódio e de íons de potássio intracelulares se alteram até alcançarem um novo platô (a concentração de sódio diminui, e a concentração de potássio aumenta). Como ambas espécies são hidrofílicas, ao passarem do meio intra para o meio extracelular, carregam consigo água, causando uma diminuição do volume intracelular e um posterior retorno ao valor aproximado ao inicial.

Aumentando a concentração de sódio inicial de  $[Na^+]_i^0 = 10.0 \text{ mol.m}^{-3}$  para  $[Na^+]_i^0 = 100.0 \text{ mol.m}^{-3}$  com a taxa de bomba em repouso  $I_{max} = 0.13$ , obtem-se o seguinte resultado:

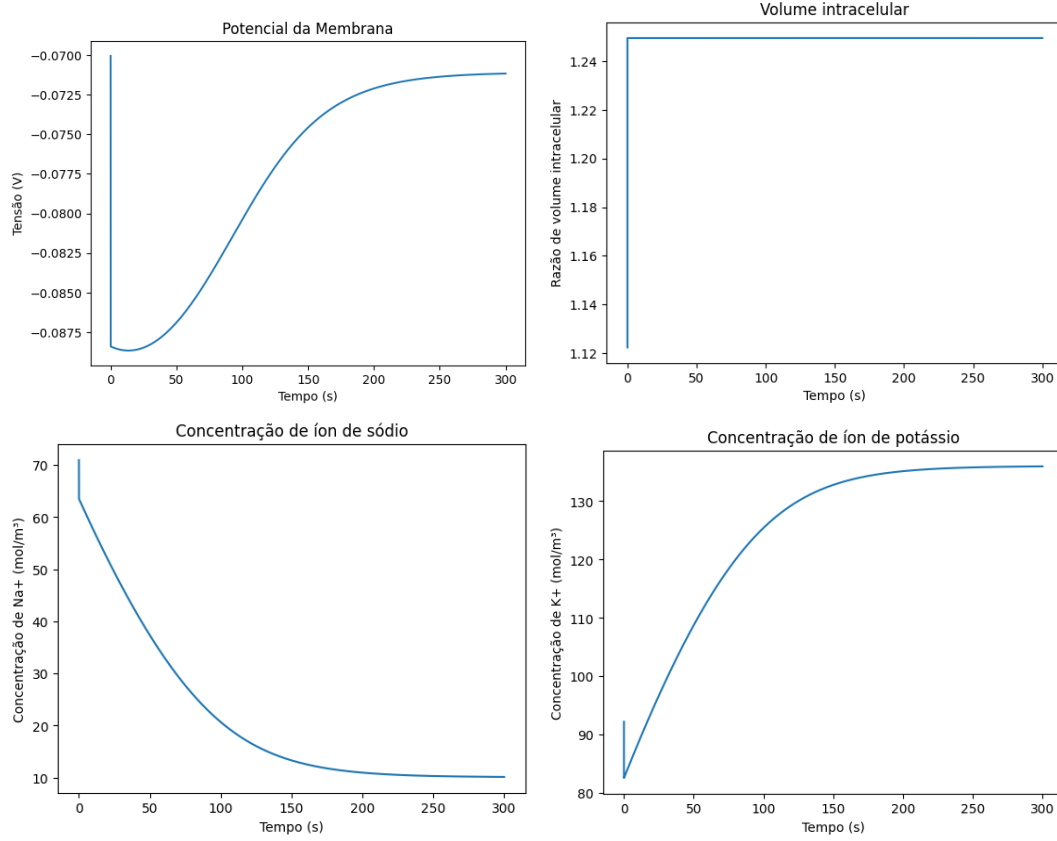


Figure 3: Resultados obtidos com a taxa de bomba  $I_{max} = 0.13$ , com condições iniciais  $[Na^+]_i^0 = 100.0 \text{ mol.m}^{-3}$ ,  $[K^+]_i^0 = 130.0 \text{ mol.m}^{-3}$ ,  $V^0 = -0.07 \text{ V}$ ,  $p_i^0 = p_e$  e  $a_i^0 = 0.869565217$

Com o aumento da concentração de íons de sódio intracelular, causa-se uma diferença na tensão inicial que se torna ainda mais negativa. O volume intracelular se torna mais elevado, porém alcança um platô rapidamente, esse aumento de volume se dá provavelmente pelo aumento da pressão osmótica causada pelo aumento de íons no meio intracelular.

Em relação as concentrações de sódio e de potássio, observa-se que com o passar do tempo tendem ao valor constante encontrado no estudo da bomba em repouso. Como no presente estudo utiliza-se o valor de taxa de bomba para a bomba em repouso, as trocas de meio intra para extracelular vice e versa se dão majoritariamente pelos canais iônicos.

Combinando as duas alterações, ou seja: aumentando a taxa da bomba de  $I_{max} = 0.13$  para  $I_{max} = 1$  e a concentração de sódio intracelular de  $[Na^+]_i^0 = 10.0 \text{ mol.m}^{-3}$  para  $[Na^+]_i^0 = 100.0 \text{ mol.m}^{-3}$  temos;

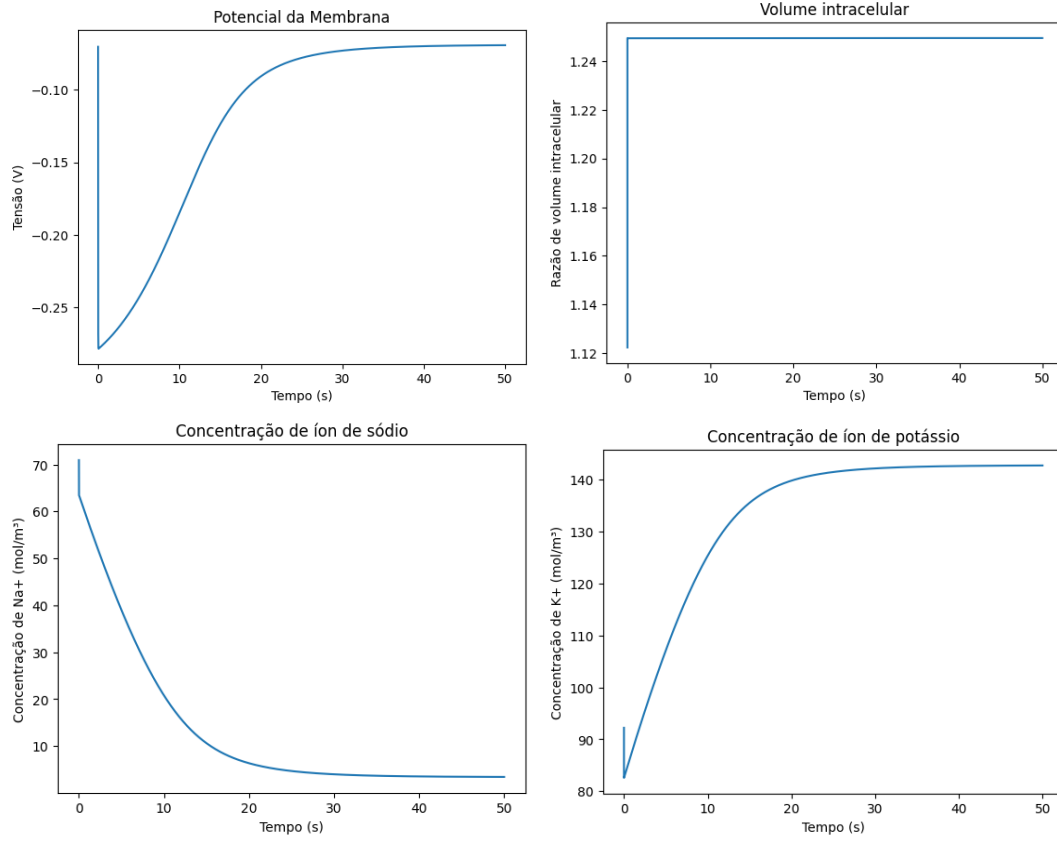


Figure 4: Resultados obtidos com a taxa de bomba  $I_{max} = 1$ , com condições iniciais  $[Na^+]_i^0 = 100.0 \text{ mol.m}^{-3}$ ,  $[K^+]_i^0 = 130.0 \text{ mol.m}^{-3}$ ,  $V^0 = -0.07 \text{ V}$ ,  $p_i^0 = p_e$  e  $a_i^0 = 0.869565217$

Observa-se que com o aumento da taxa da bomba, a mudança nas concentrações e no potencial da membrana ocorre mais rapidamente (no exemplo anterior, demorava-se cerca de 300 segundos e nesse caso, cerca de 30 segundos). Outro destaque é que com a taxa de bomba maior, o platô das concentrações são constantes diferentes das obtidas anteriormente, sendo a de sódio menor que  $10 \text{ mol.m}^{-3}$  e a de potássio maior que  $140 \text{ mol.m}^{-3}$