

Fisiologia Renal

Transporte tubular

Prof Ricardo M. Leão

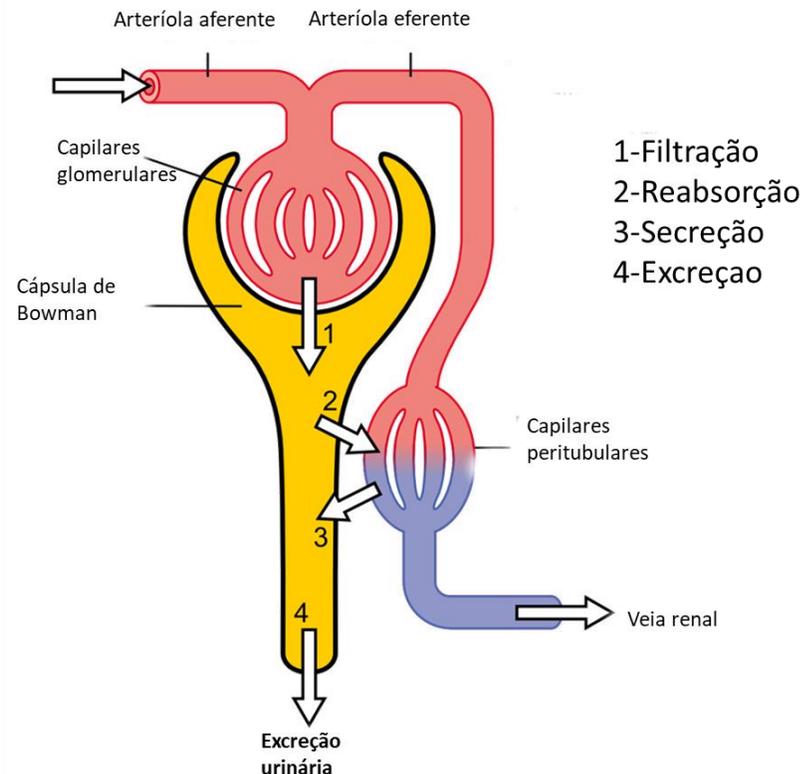
FMRP-USP

Berne Fisiologia ,capitulo 34 (5ª edição)/32 (6ª edição)



Filtração, secreção e reabsorção

- Substâncias essenciais ao organismos são **reabsorvidas**
- Substâncias em excesso ou tóxicas não são reabsorvidas
- Essas substâncias também podem ser **secretadas**.
- Diferentes partes do néfron participam dos processos de reabsorção e secreção de diferentes substâncias.



● **Tabela 33-1. Filtração, Excreção e Reabsorção de Água, Eletrólitos e Solutos pelos Rins**

Substância	Medida	Filtrado*	Excretado	Reabsorvido	% Carga Filtrado Reabsorvida
Água	L/dia	180	1,5	178,5	99,2
Na ⁺	mEq/dia	25.200	150	25.050	99,4
K ⁺	mEq/dia	720	100	620	86,1
Ca ⁺⁺	mEq/dia	540	10	530	98,2
HCO ₃ ⁻	mEq/dia	4.320	2	4.318	99,9 ⁺
Cl ⁻	mEq/dia	18.000	150	17.850	99,2
Glicose	mmol/dia	800	0	800	100,0
Ureia	g/dia	56	28	28	50,0

*A quantidade filtrada de qualquer substância é calculada pela multiplicação da concentração dessa substância no ultrafiltrado pela intensidade de filtração glomerular (IFG); por exemplo, a carga filtrada de Na⁺ é calculada como $[Na^+]_{\text{ultrafiltrado}} (140 \text{ mEq/L}) \times \text{IFG} (180 \text{ L/dia}) = 25.200 \text{ mEq/dia}$.



● Tabela 33-2. Composição da Urina

Substância	Concentração
Na ⁺	50-130 mEq/L
K ⁺	20-70 mEq/L
Amônio (NH ₄ ⁺)	30-50 mEq/L
Ca ⁺⁺	5-12 mEq/L
Mg ⁺⁺	2-18 mEq/L
CL ⁻	50-130 mEq/L
Fosfato inorgânico (P _i)	20-40 mEq/L
Ureia	200-400 mM
Creatinina	6-20 mM
pH	5,0-7,0
Osmolalidade	500-800 mOsm/kg H ₂ O
Glicose	0
Aminoácidos	0
Proteínas	0
Sangue	0
Cetonas	0
Leucócitos	0
Bilirrubina	0

A composição e o volume da urina podem variar muito no estado saudável. Esses valores representam as faixas médias. A excreção de água varia entre 0,5 a 1,5 L/dia.

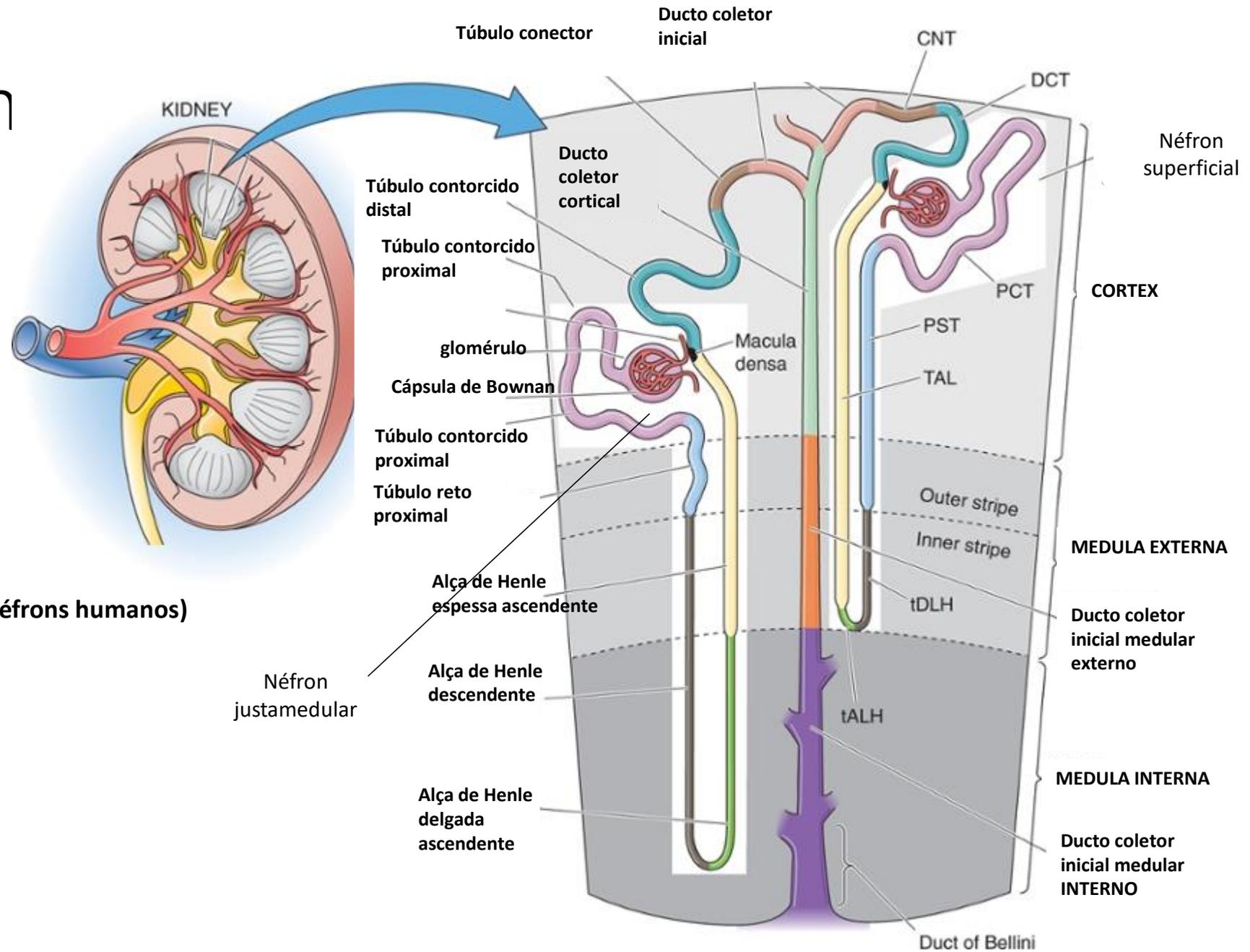
Dados de Valtin HV: Renal Physiology, 2nd ed. Boston, Little, Brown, 1983.



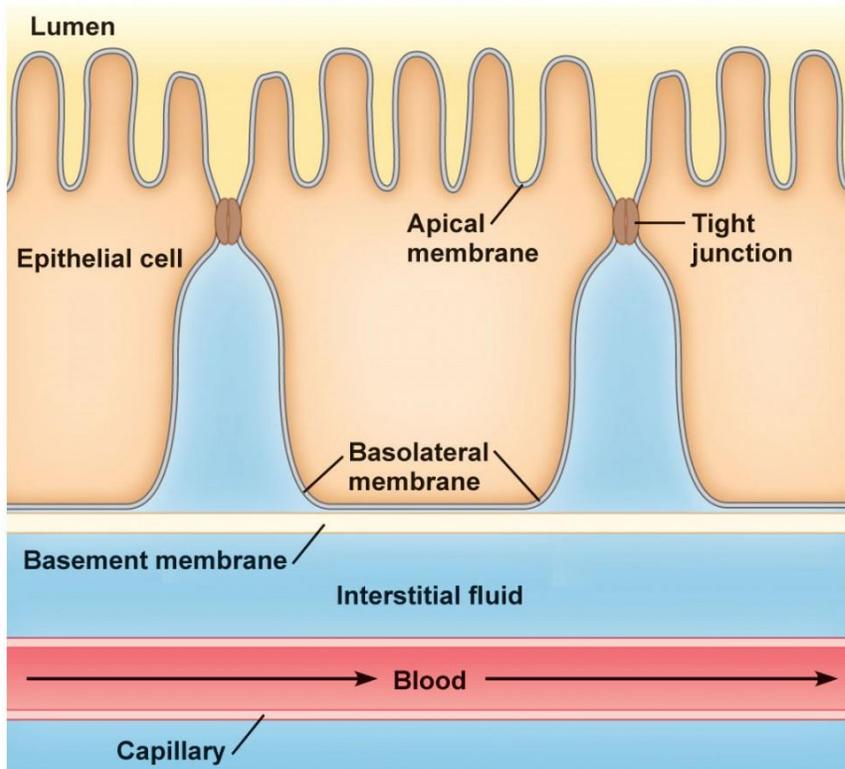
O néfron

Um rim humano possui ~1.000.000 de nefrons

néfron juxtamedular (25% dos nefrons humanos)

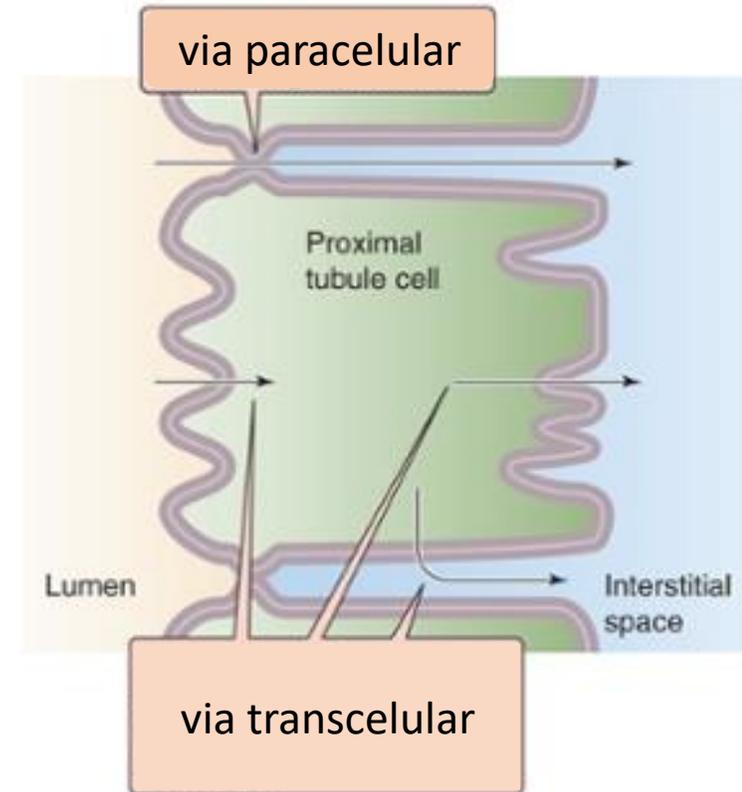


As substâncias são reabsorvidas por vias **paracelulares** e **transcelulares**



© 2011 Pearson Education, Inc.

A PARACELLULAR AND TRANSCELLULAR ROUTES



A maioria das substâncias é reabsorvida no **túbulo convoluto proximal**

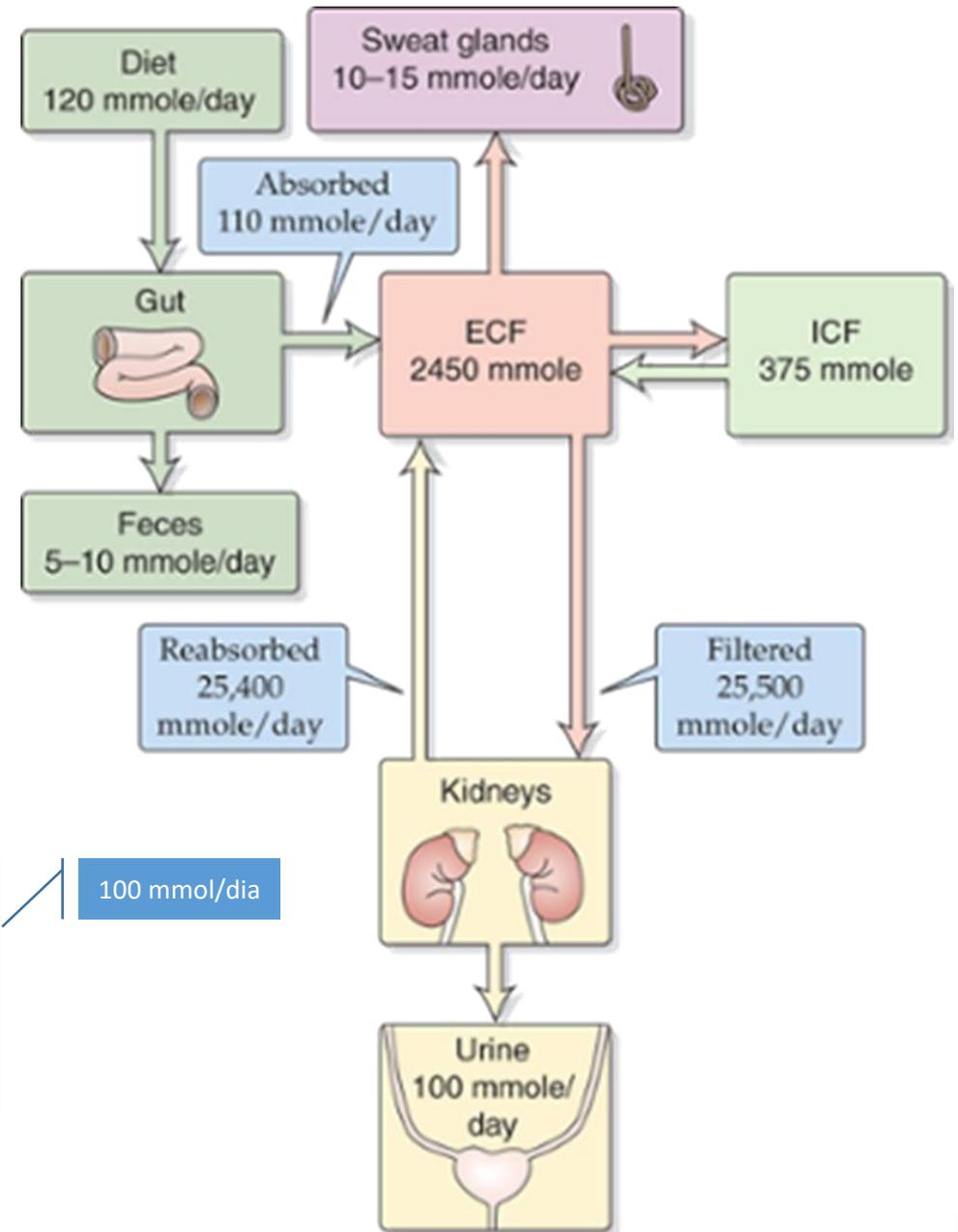
- Água
- Sódio
- Cloreto
- Potássio
- Glicose
- Aminoácidos
- Vitaminas
- Fosfato
- Bicarbonato
- Cálcio



Homeostase do sódio

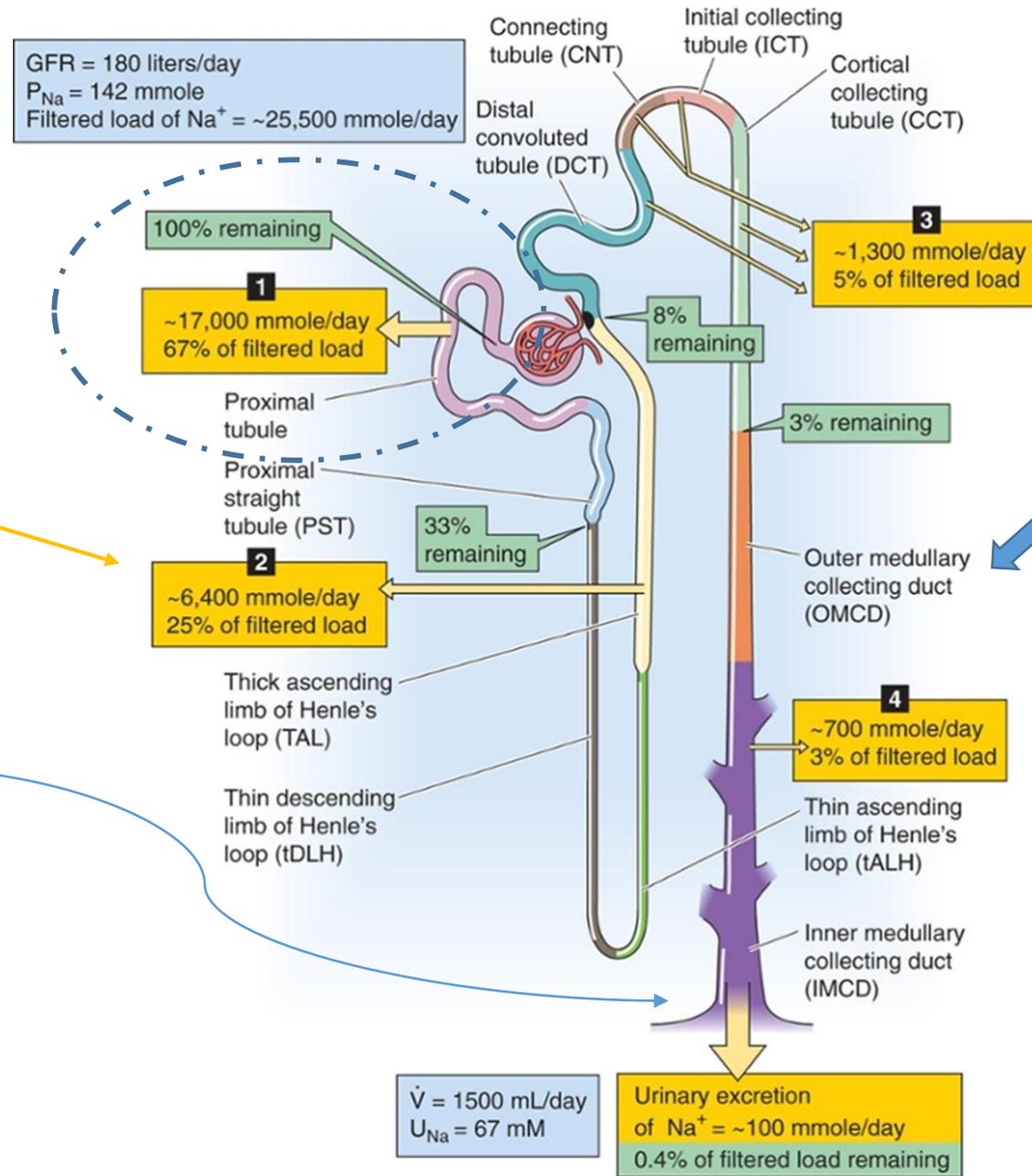
Carga filtrada diária de sódio = $TFG \times [Na^+]_p = 180 \text{ L/dia} \times 142 \text{ mM}$

||
25.500 mmol/dia



A maior parte do **sódio** é reabsorvida no **túbulo convoluto proximal**.

- O túbulo proximal e a alça ascendente espessa de Henle reabsorvem 92% do Na^+ filtrado
- Os 7% restantes são reabsorvidos nos ductos coletores, onde essa fração é sujeita a efeitos hormonais.
- Apenas 0,4% do Na^+ filtrado é excretado, normalmente



Absorção de **sódio** no túbulo convoluto proximal

-Por **transporte ativo secundário** com glucose, aminoácidos, fosfato, sulfato, lactato e outros ácidos orgânicos.

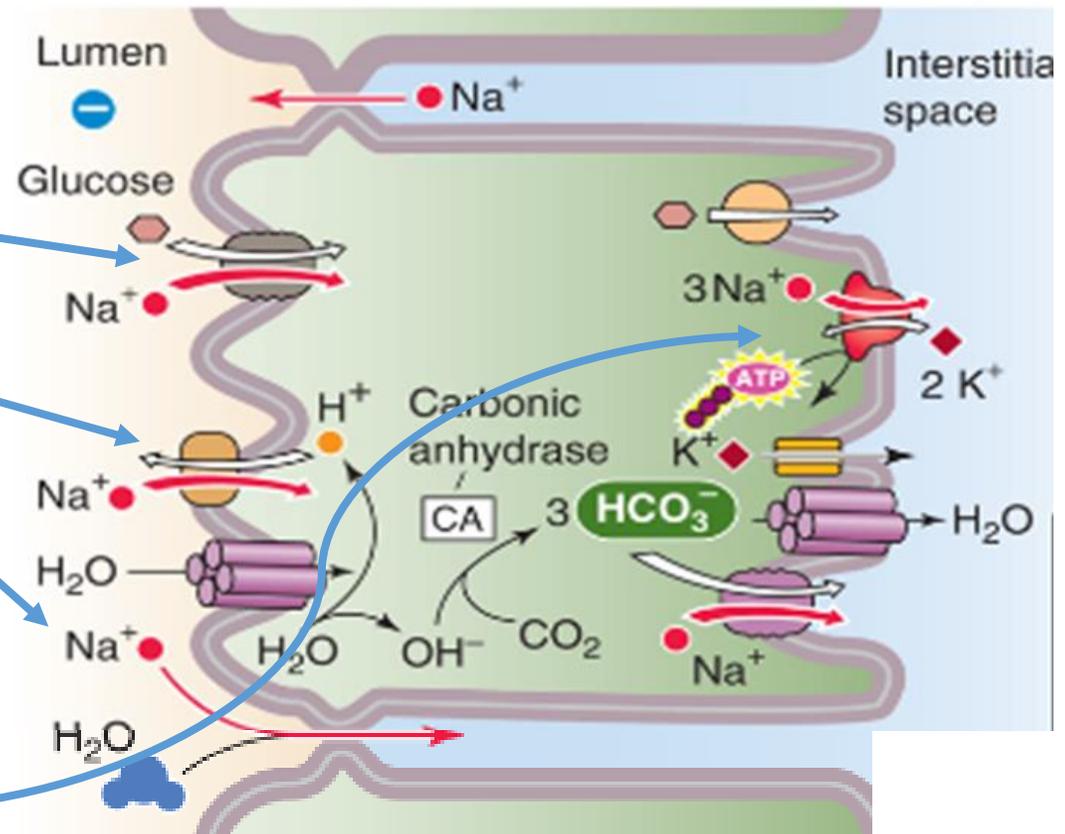
-Por **co-transporte** com o hidrogênio (NHE3) – secreção de ácido.

-Passivamente pela via paracelular junto com a água (arrasto de solvente).

-*devido a alta permeabilidade das vias trans e paracelulares a água a concentração tubular de sódio não é significativamente alterada.*

-A saída do sódio para o espaço intersticial se dá por **transporte ativo primário** pela Na/K-ATPase.

A EARLY PROXIMAL CONVOLUTED TUBULE (S1)



Absorção de **sódio** na alça de Henle ascendente

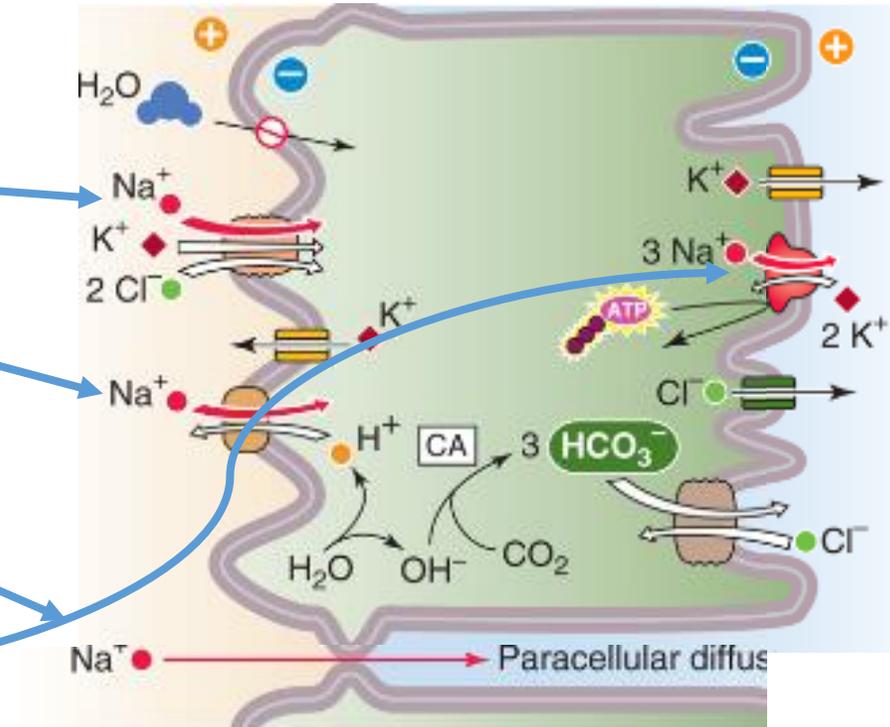
-Por **co-transporte** com o potássio e o cloreto (NKCC2).

-Por **co-transporte** com o hidrogênio (NHE3) – secreção de ácido.

-Passivamente pela via paracelular.

-devido a baixa permeabilidade das vias trans e paracelulares a água a concentração tubular de sódio diminui.

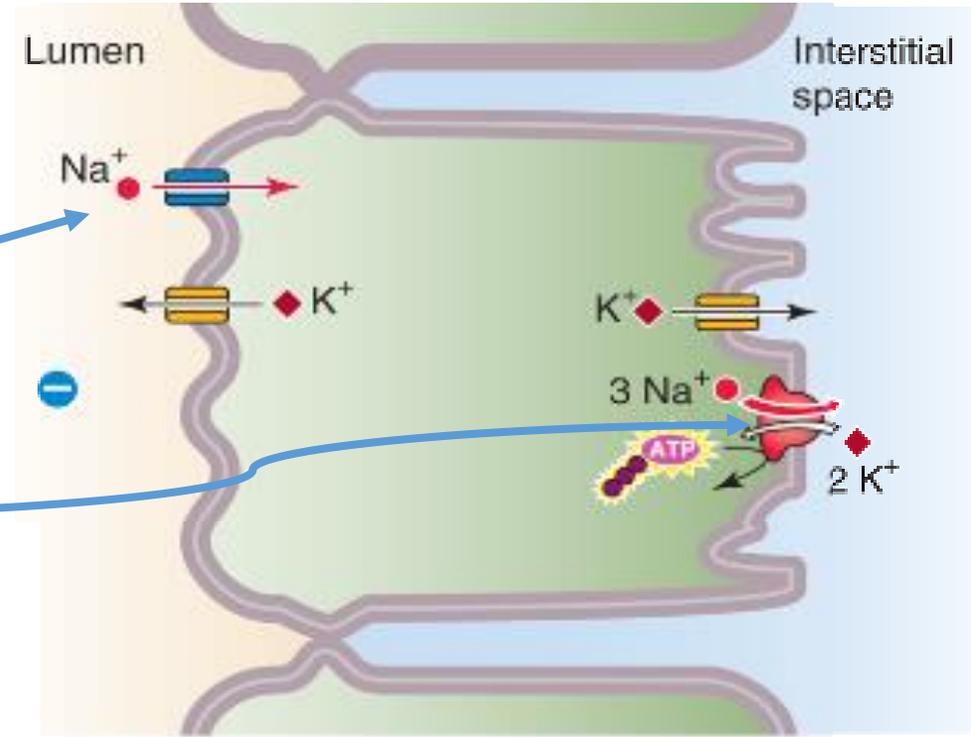
-A saída do sódio para o espaço intersticial se dá por **transporte ativo primário** pela Na/K-ATPase.



Absorção de **sódio** na alça no ducto coletor (regulado pela **aldosterona**)

-Por difusão por canais de sódio não-dependents de voltagem.

-A saída do sódio para o espaço intersticial se dá por **transporte ativo primário** pela Na/K-ATPase.

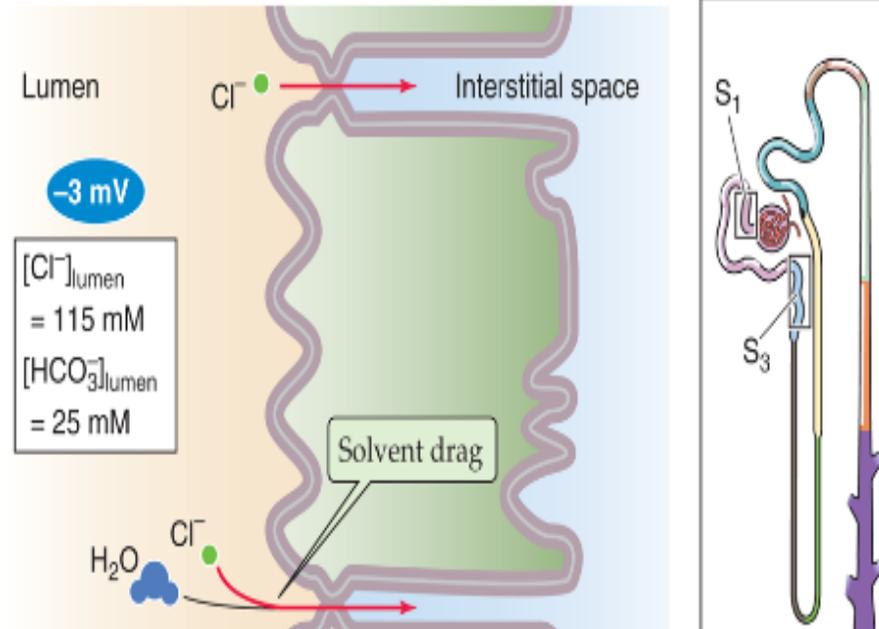


O Cloreto é reabsorvido junto com o sódio – túbulo proximal

Túbulo proximal- O cloreto é reabsorvido pela via paracelular nos segmentos iniciais do túbulo

-Canais de cloreto basolaterais enviam o cloreto para o interstício.

A EARLY PROXIMAL CONVOLUTED TUBULE (S1)



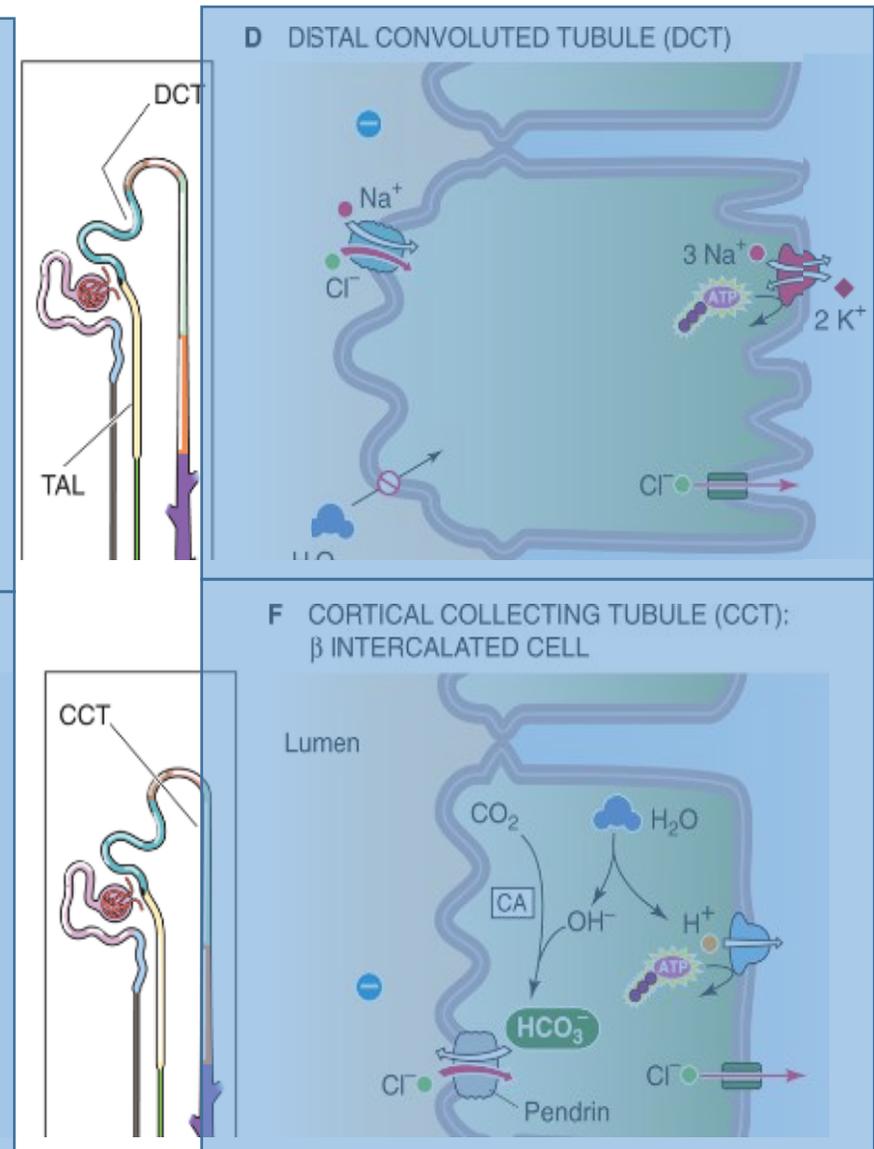
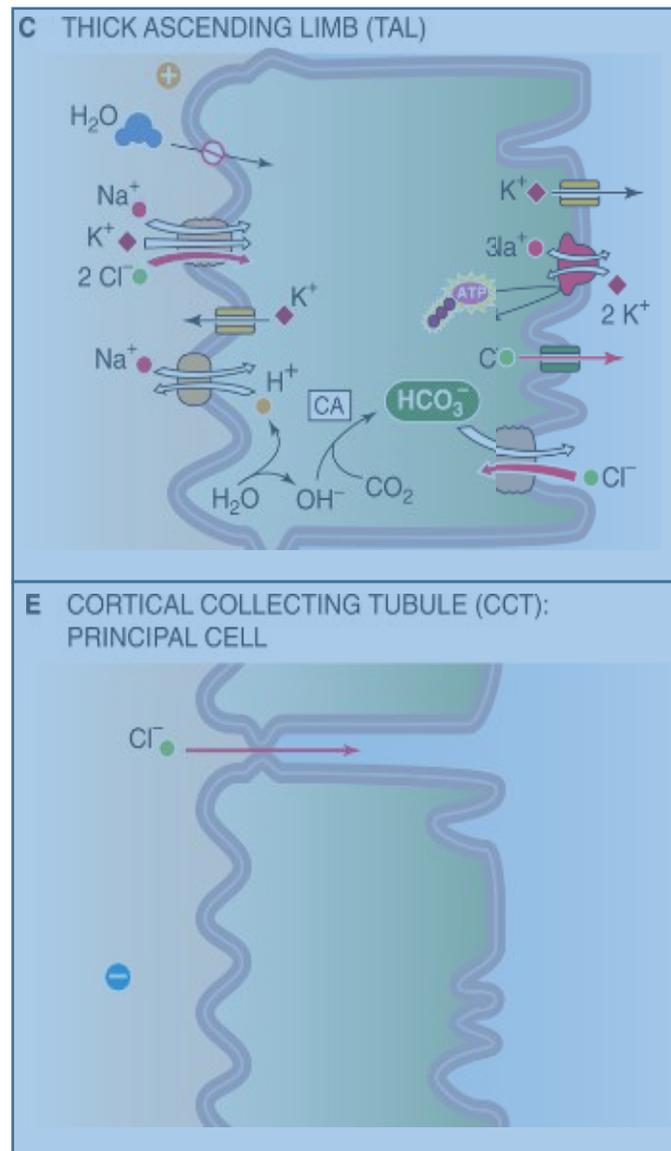
O Cloreto é reabsorvido junto com o sódio

Alça de Henle ascendente – Cotransportador Na/K/Cl.

Túbulo conv. distal – Cotransportador Na/Cl

Ducto coletor – via paracelular e transcelular (trocaador bicarbonato/Cl).

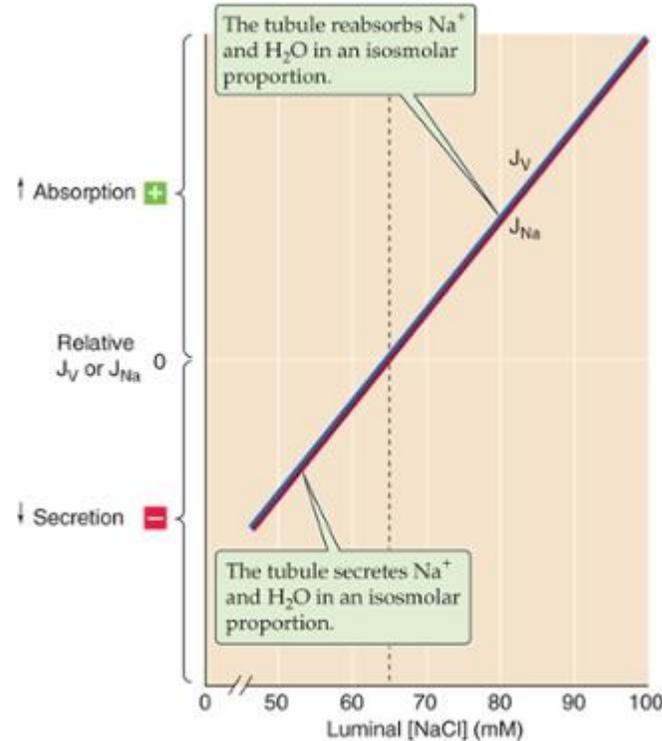
-Canais de cloreto basolaterais enviam o cloreto para o interstício.



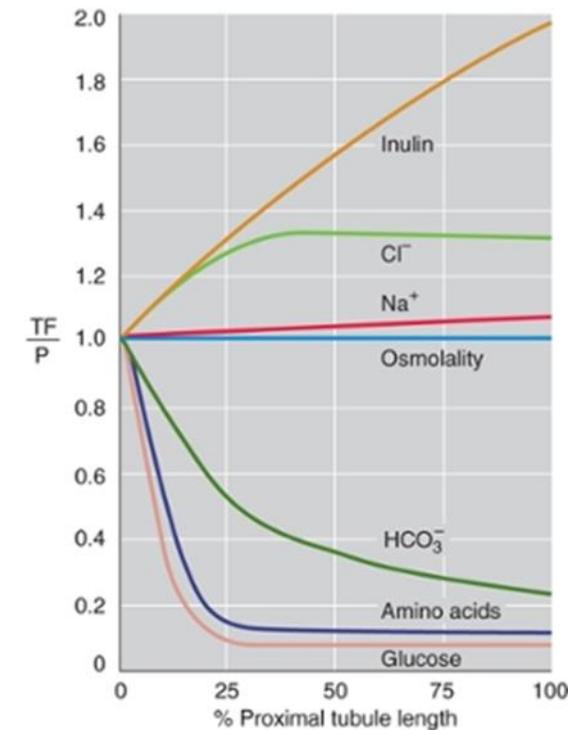
A reabsorção no túbulo proximal é isosmótica

- A alta expressão de **aquaporina I** faz o túbulo ser muito permeável a água.
- A água basicamente segue o fluxo de solutos (no caso principalmente o sódio).

Mas tarde trataremos do transporte de água em outras regiões tubulares



O fluxo de sódio no túbulo proximal (J_{Na}) é igual ao fluxo de água (J_v).



A osmolaridade é mantida constante no túbulo proximal.

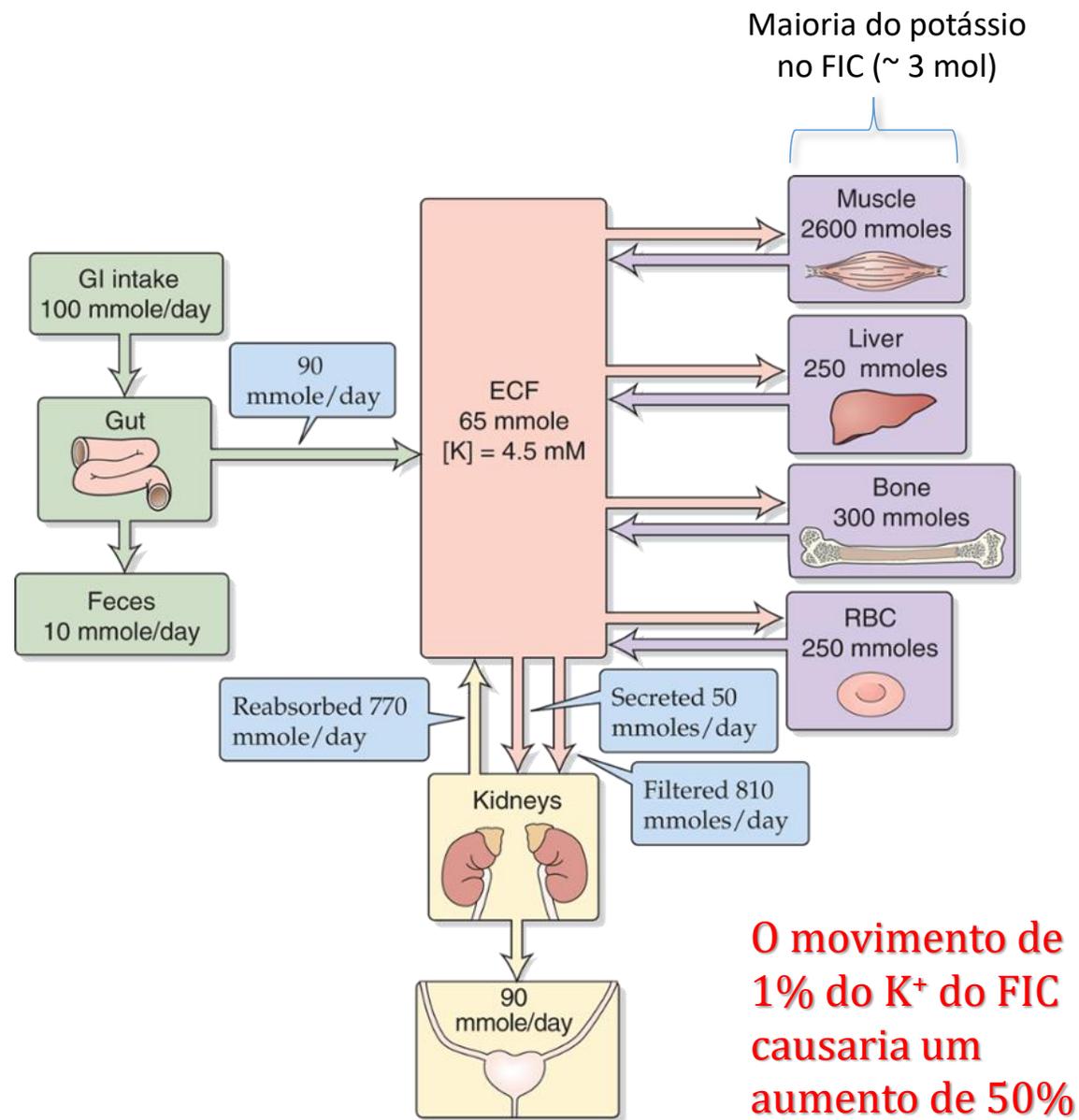


Homeostase do potássio

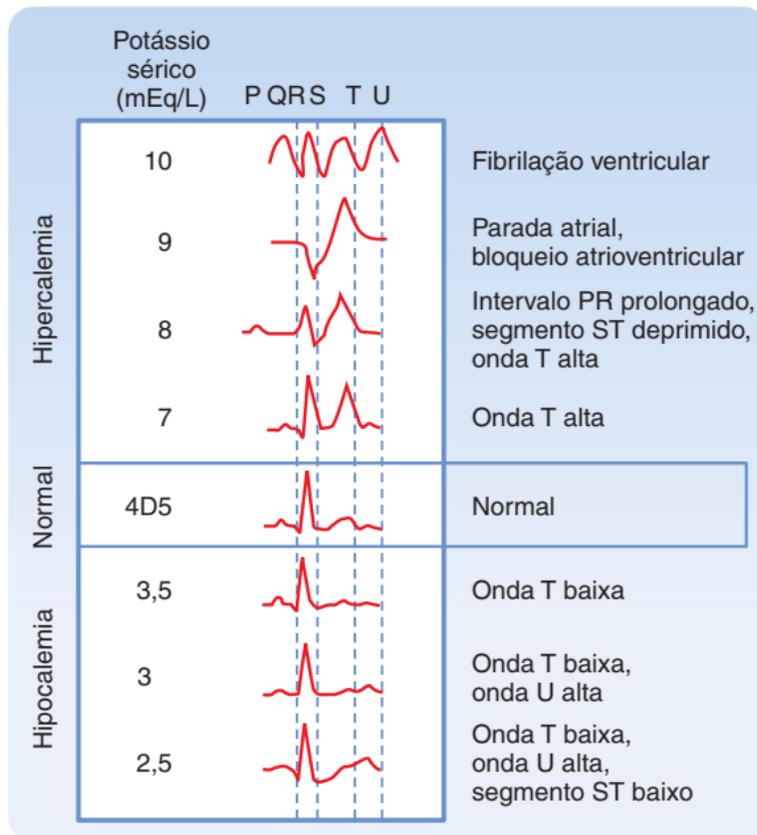
-O potássio extracelular precisa ser mantido em uma estreita faixa entre 2,5 e 5 mM.

-Desvios dessa faixa causam vários problemas, especialmente no funcionamento dos músculos esqueléticos e cardíaco.

-80 a 120 mmol/dia de sais de potássio são ingeridos, e são eliminados principalmente pelos rins.



Consequências da hipo e hiperpotassemia

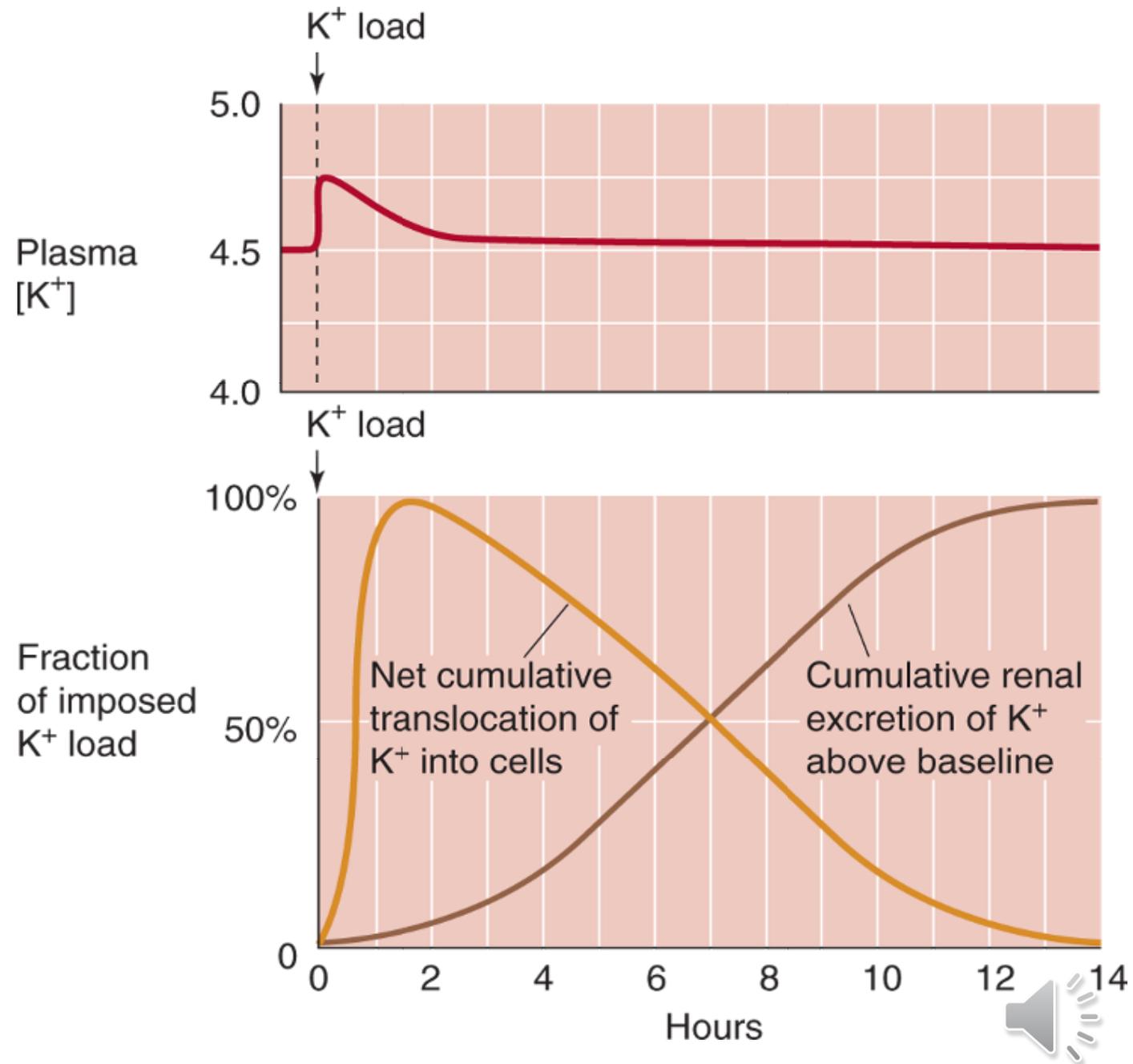


	Hipo potasseemia	Hiper potasseemia
Volume celular	diminuição	aumento
pH intracelular	Alcalose metabólica	Acidose metabólica
Potencial de repouso	hiperpolarização	despolarização
Músculo esquelético	Fraqueza muscular, paralisia flácida	Maior excitabilidade; paralisia (a longo prazo)
coração	Diminuição na condução, arritmias	Arritmias ventriculares e vibração



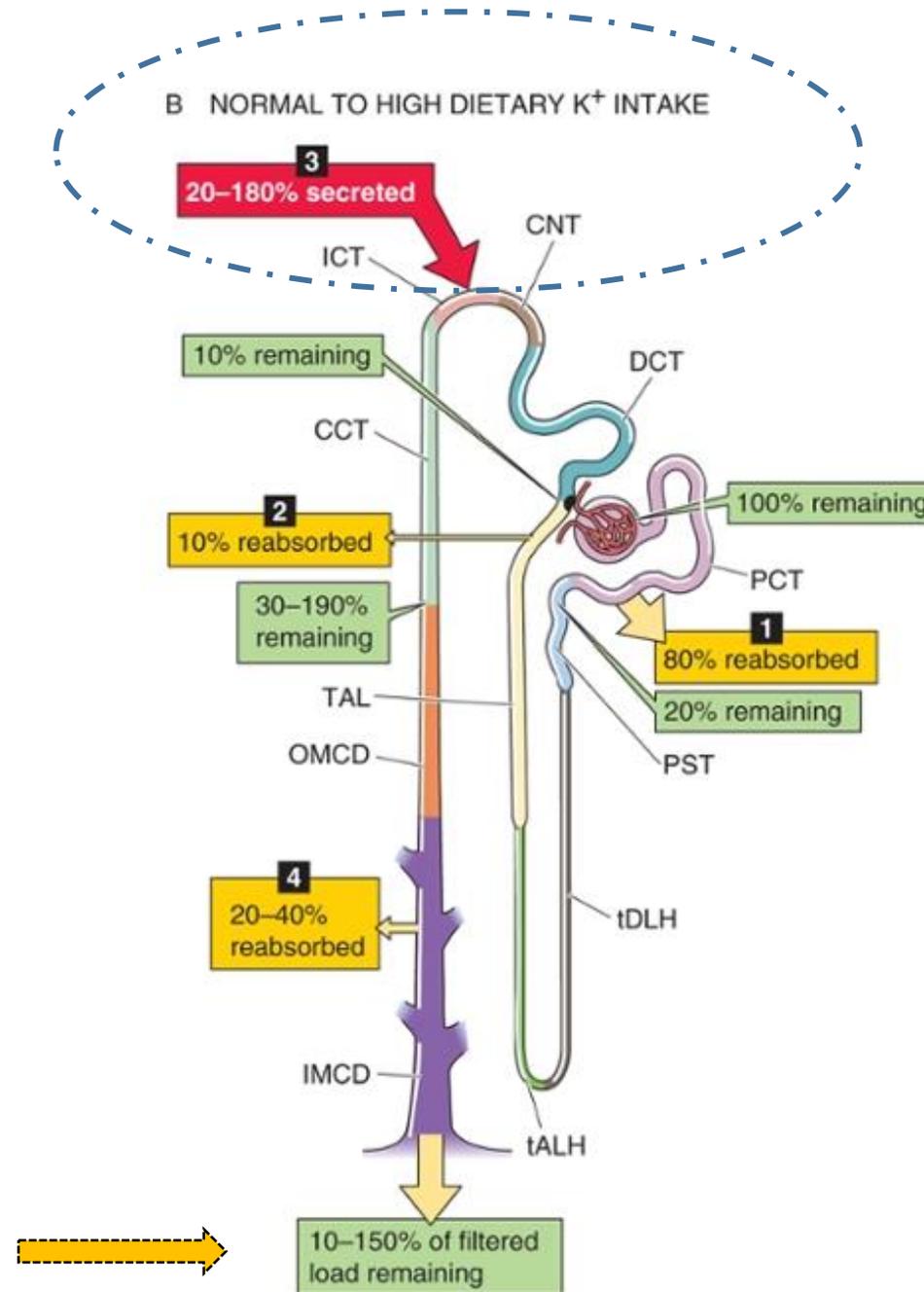
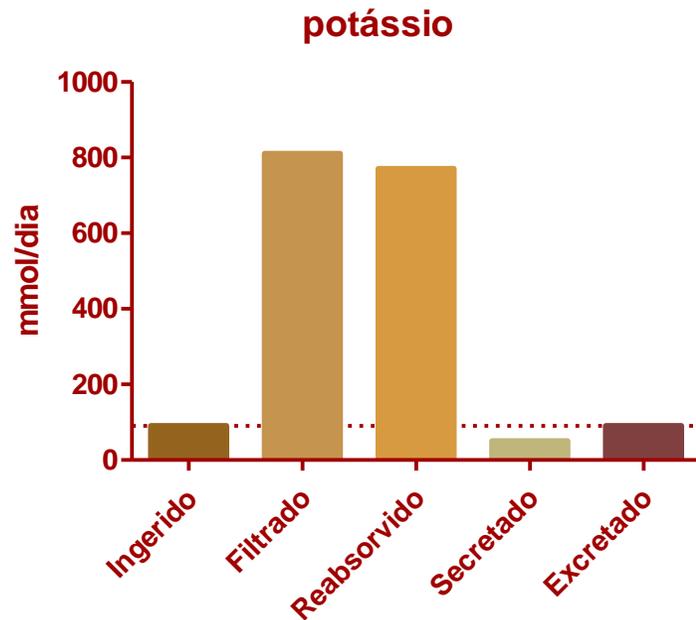
Como o corpo lida com o excesso de potássio ingerido com os alimentos?

As células (maioria da musculatura esquelética) captam o potássio em excesso e o liberam aos poucos para ser excretado pelos rins



Os rins filtram, reabsorvem e secretam potássio

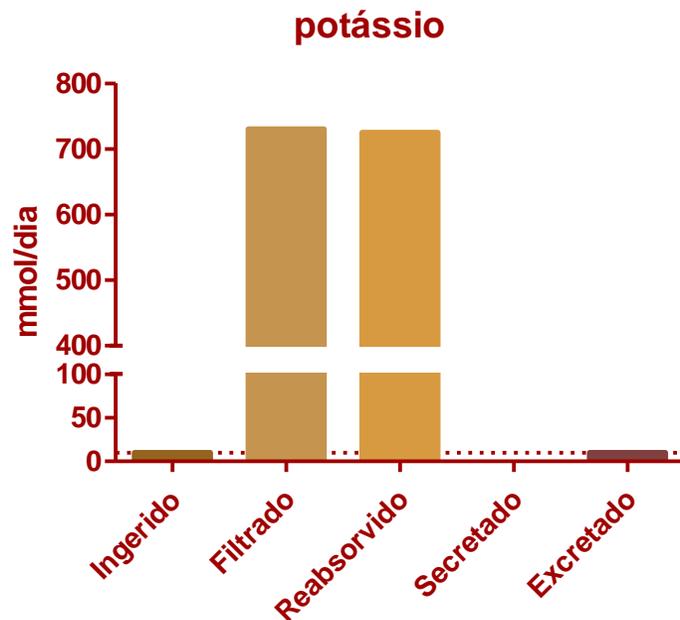
-Numa TFG normal os rins filtram 800 mmol de potássio por dia. Com uma ingestão de 80 mmol/dia, 10% é excretado



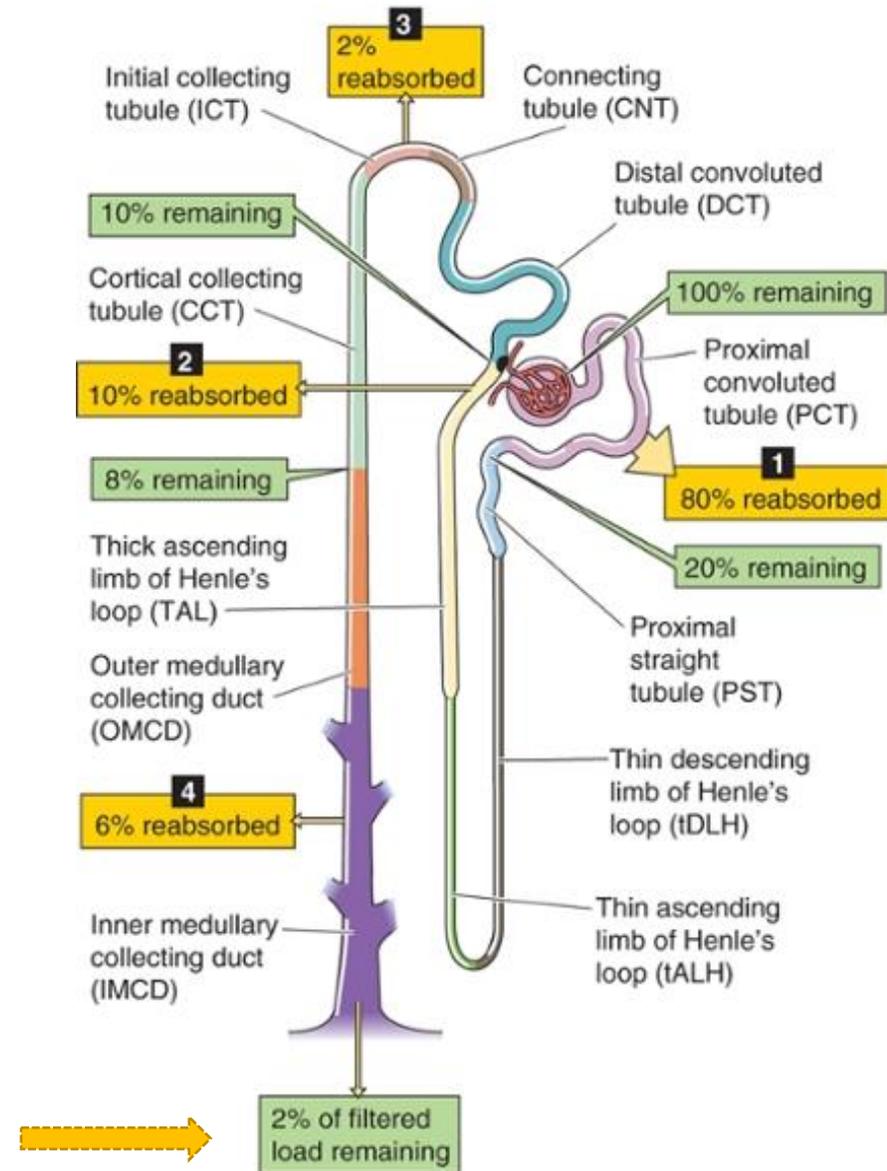
Os rins filtram, reabsorvem e secretam **potássio**

-Numa TFG normal os rins filtram 800 mmol de potássio por dia. Com uma ingestão de 80 mmol/dia, 10% é excretado

-Em dietas muito **pobres** em potássio não há secreção tubular desse íon.



A LOW DIETARY K⁺ INTAKE

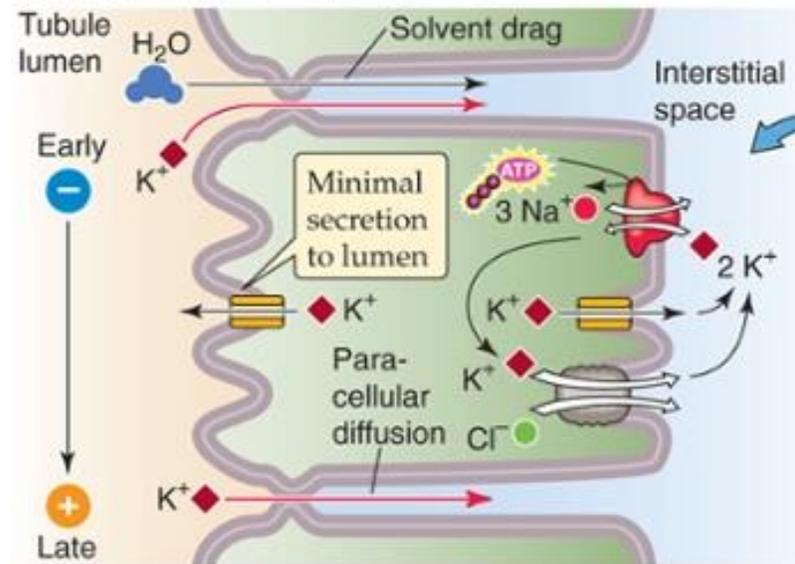


Mecanismos tubulares de reabsorção do potássio

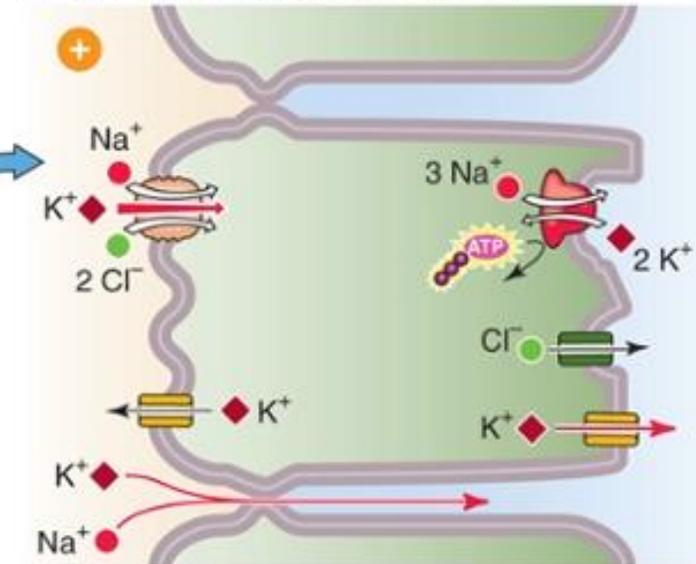
-Nos **túbulos convolutos proximais** a reabsorção é paracelular, e na maior parte por “arrasto” com a água.

-Na **parte ascendente espessa da alça de Henle** o potássio é reabsorvido por transporte ativo secundário e por uma via paracelular passiva.

A PROXIMAL TUBULE



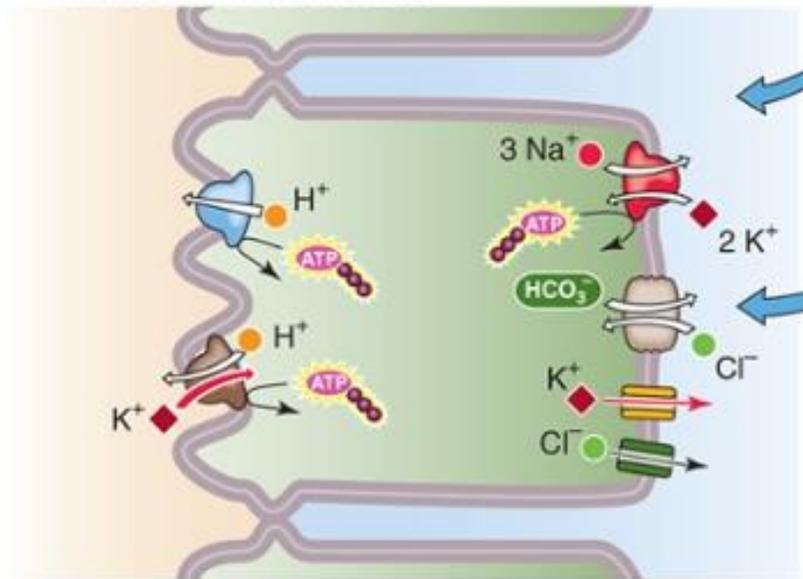
B THICK ASCENDING LIMB (TAL)



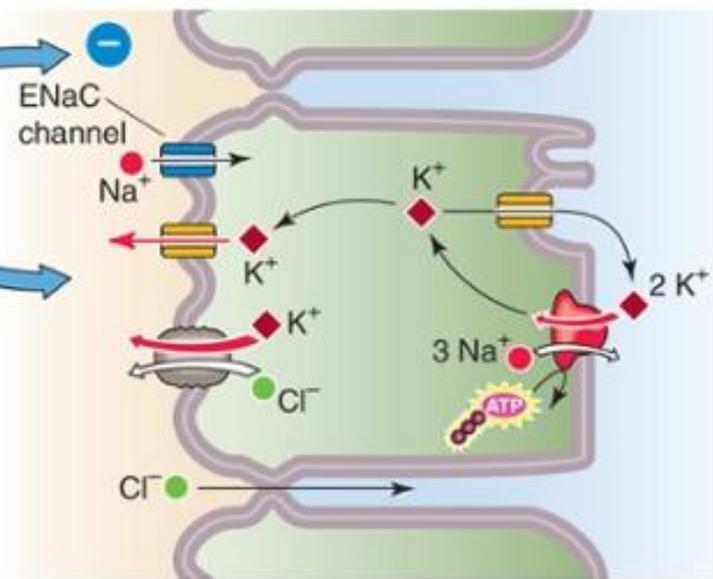
Mecanismos tubulares de reabsorção e secreção do potássio

- No túbulo coletor cortical o potássio é **reabsorvido** por cotransporte com H^+ .
- A **secreção** de potássio no túbulo coletor cortical é feita passivamente por canais e transportadores.

C CORTICAL COLLECTING TUBULE (CCT): α INTERCALATED CELL



D CORTICAL COLLECTING TUBULE (CCT): PRINCIPAL CELL

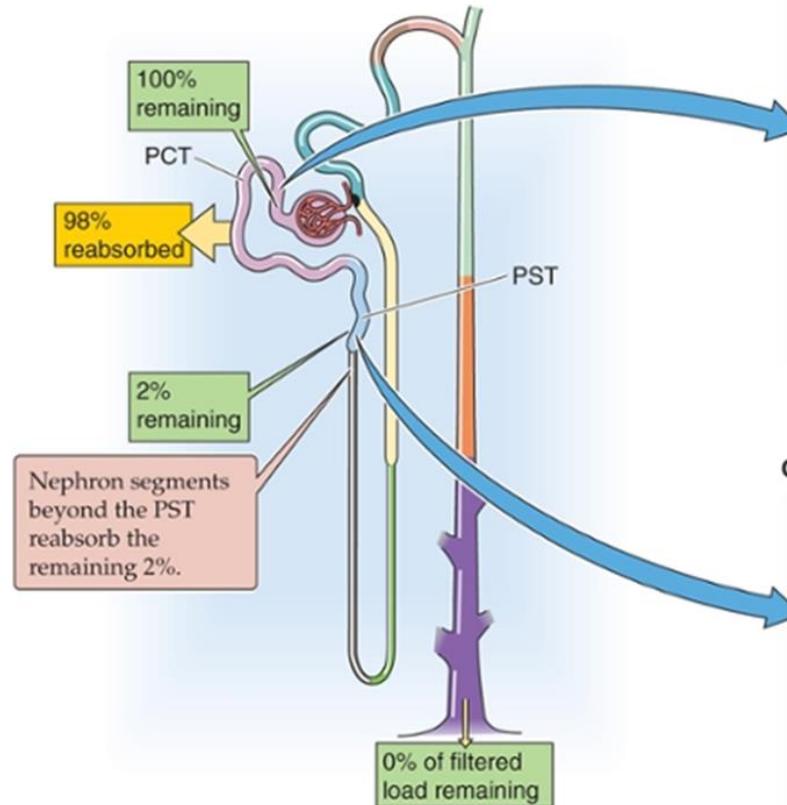


A maior parte da **glucose** é reabsorvida no túbulo proximal

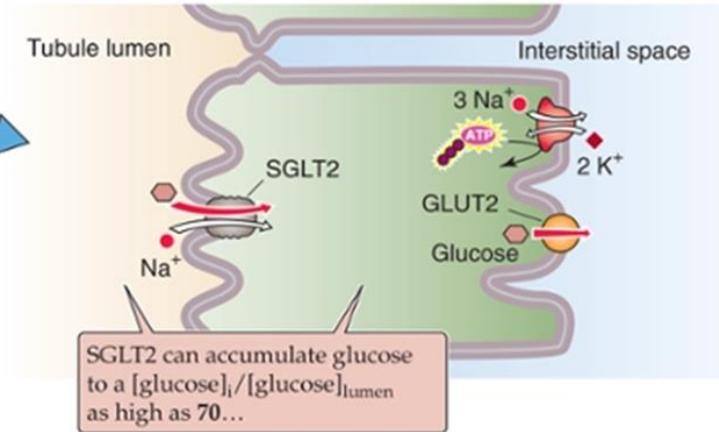
-A glucose é reabsorvida por transporte ativo secundário com o sódio. Os transportadores são o SGLT1 e SGLT2.

-Na membrana basolateral a glucose sai por transporte passivo pelo transportador GLUT1.

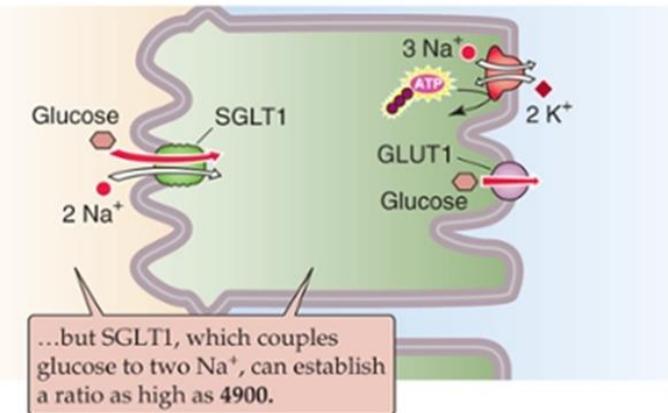
A HANDLING OF GLUCOSE ALONG NEPHRON



B EARLY PROXIMAL TUBULE (S1)

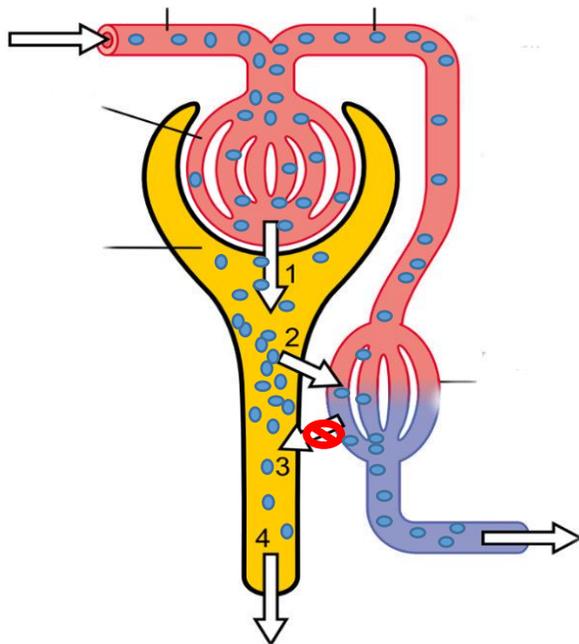


C LATE PROXIMAL TUBULE (S3)

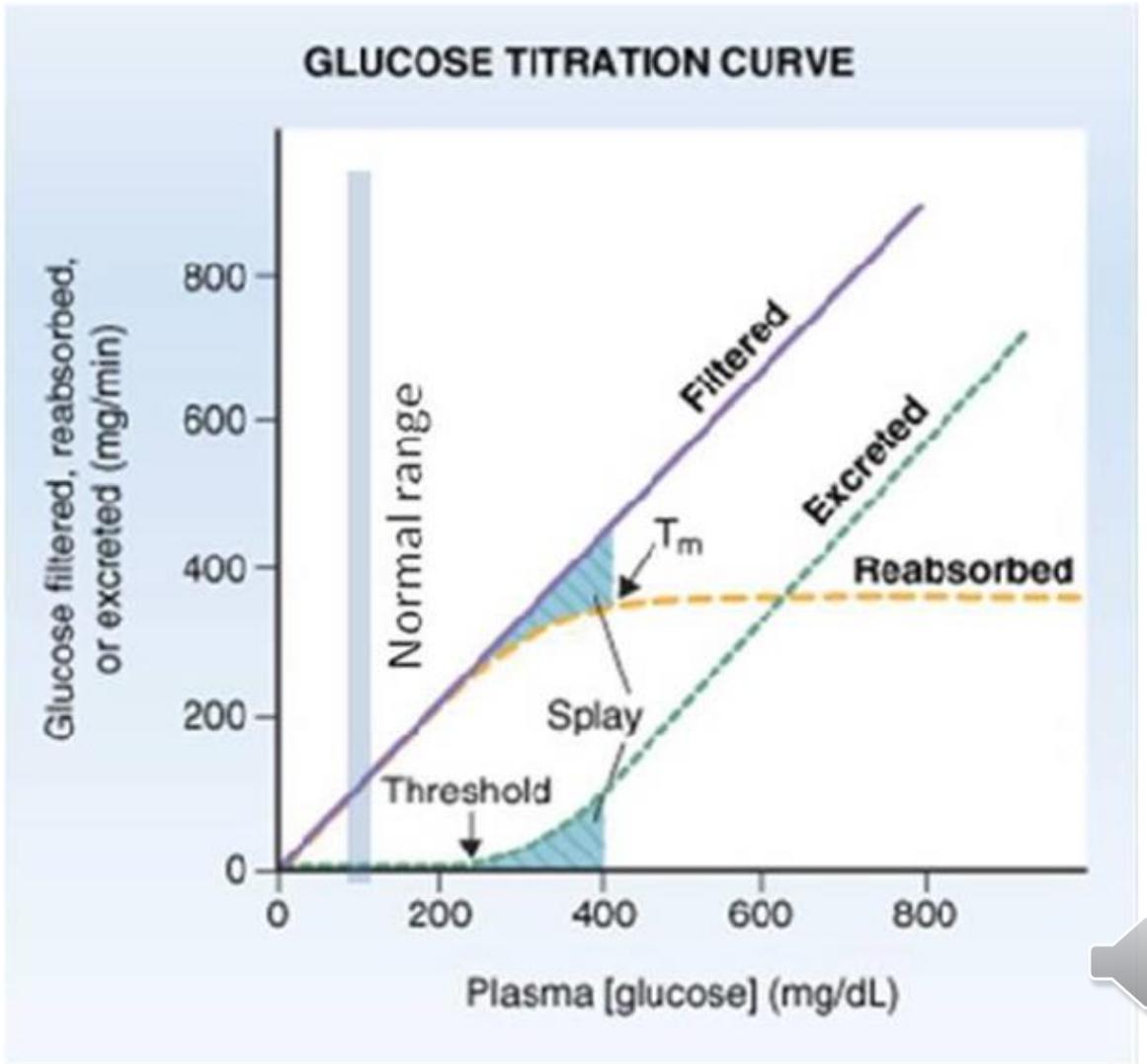


Acima de 200 mg/dl os transportadores saturam e ocorre glicosúria e diurese osmótica

-diurese osmótica ocorre quando soluto permanece no líquido tubular, aumentando sua **osmolaridade** e diminuindo assim a reabsorção de água. Ocorre na **diabetes melitus** causando poliúria.



- 1-Filtração
- 2-Reabsorção
- 3-Secreção
- 4-Excreção

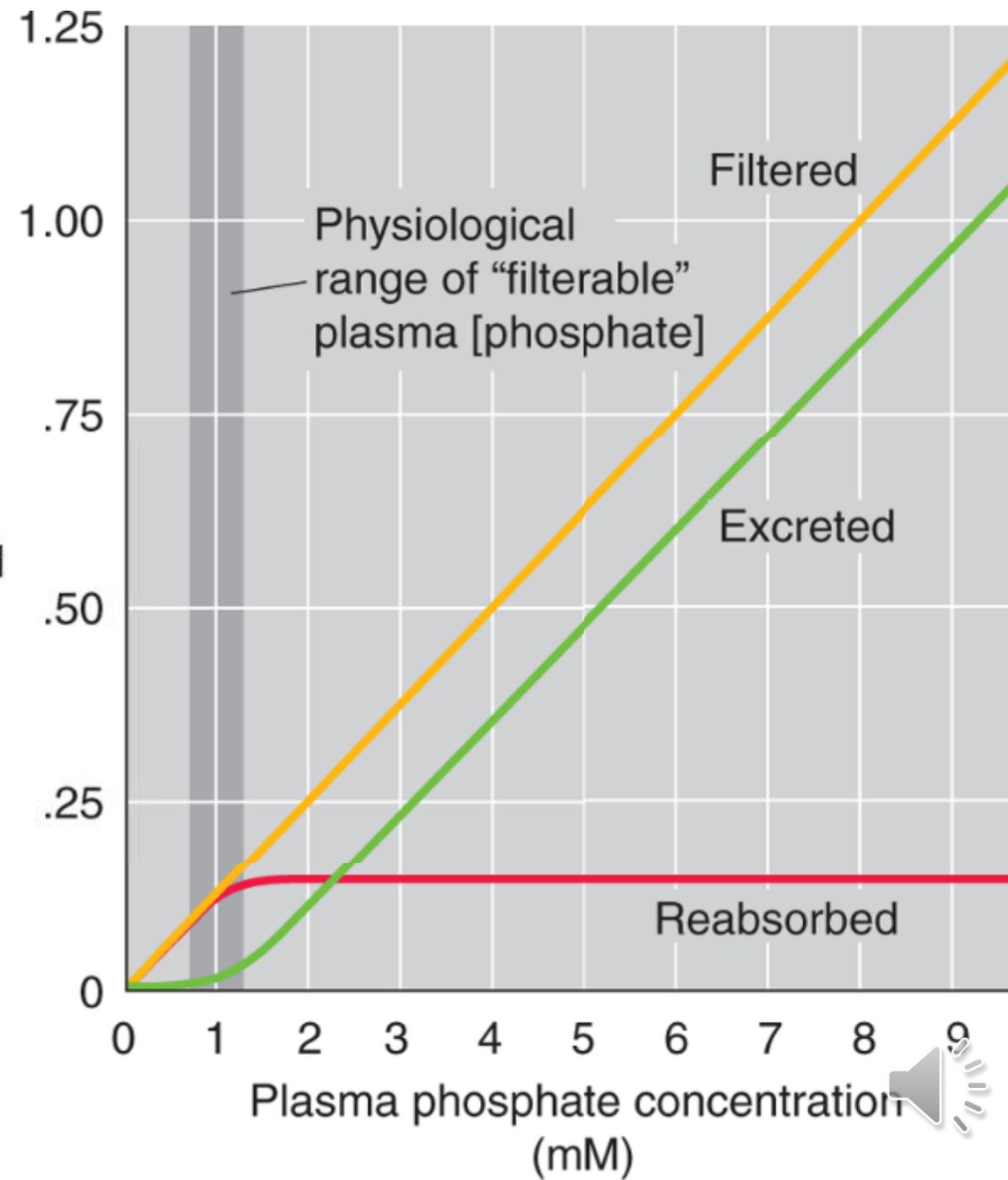


O sistema de transporte do **fosfato** satura em concentrações plasmáticas fisiológicas.

-O hormônio paratireoide (PTH) inibe a reabsorção do fosfato retirando os transportadores da membrana apical.

-o fosfato excretado contribui com o **tamponamento da acidez (pH)** da urina.

Phosphate filtered, excreted, or reabsorbed (mmole/min)



O **cálcio** é reabsorvido no túbulo proximal, na alça ascendente espessa de Henle, e no túbulo distal

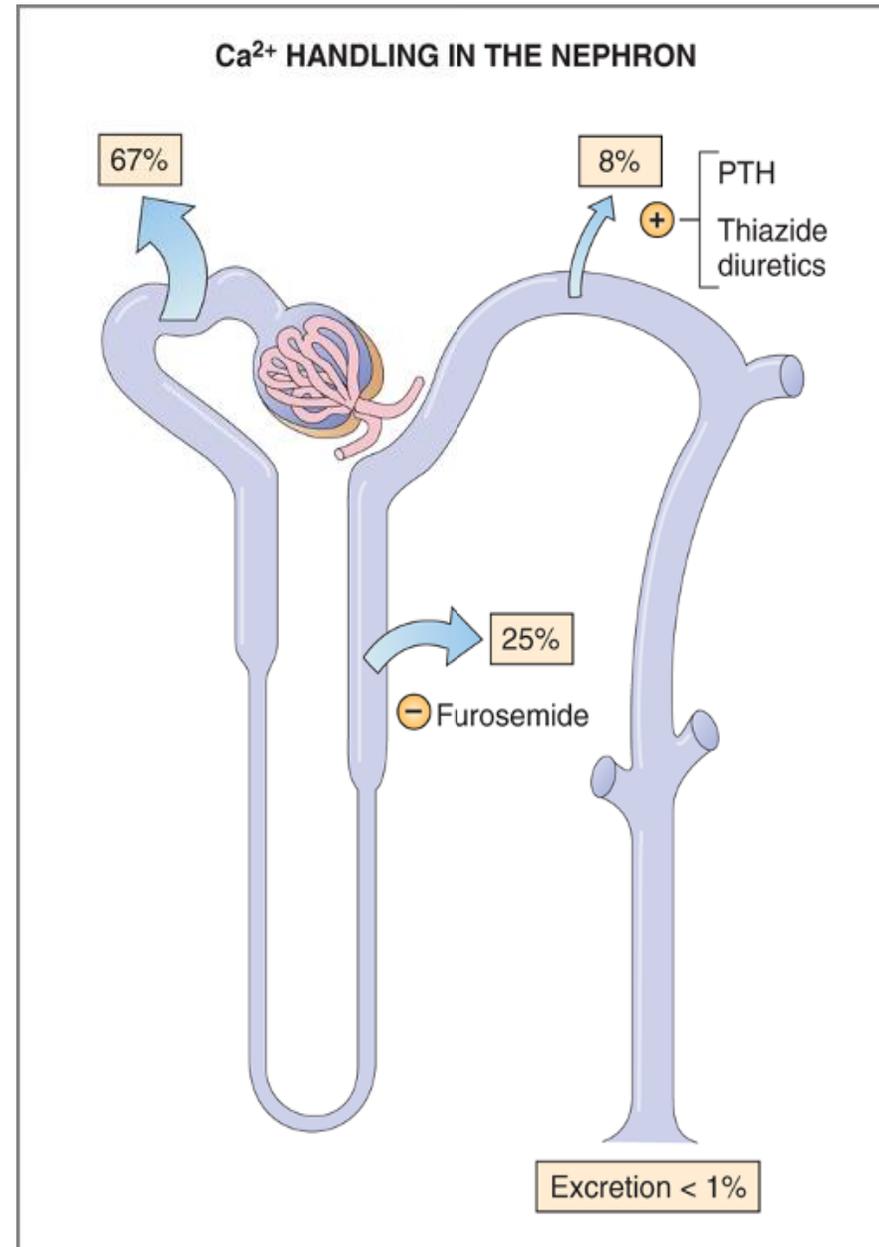
-Apenas o **cálcio livre** é filtrado pelo glomérulo.

-Cálcio livre: cálcio na forma de íon: não ligado a proteínas ou a sais orgânicos.

-O cálcio entra pela membrana apical por difusão via **canais para cálcio**.

-Ele sai pela membrana basolateral por transporte ativo secundário pelo **trocador sódio/cálcio** e transporte ativo primário pela **Ca-ATPase**.

-PTH e vitamina D aumentam a reabsorção tubular de cálcio



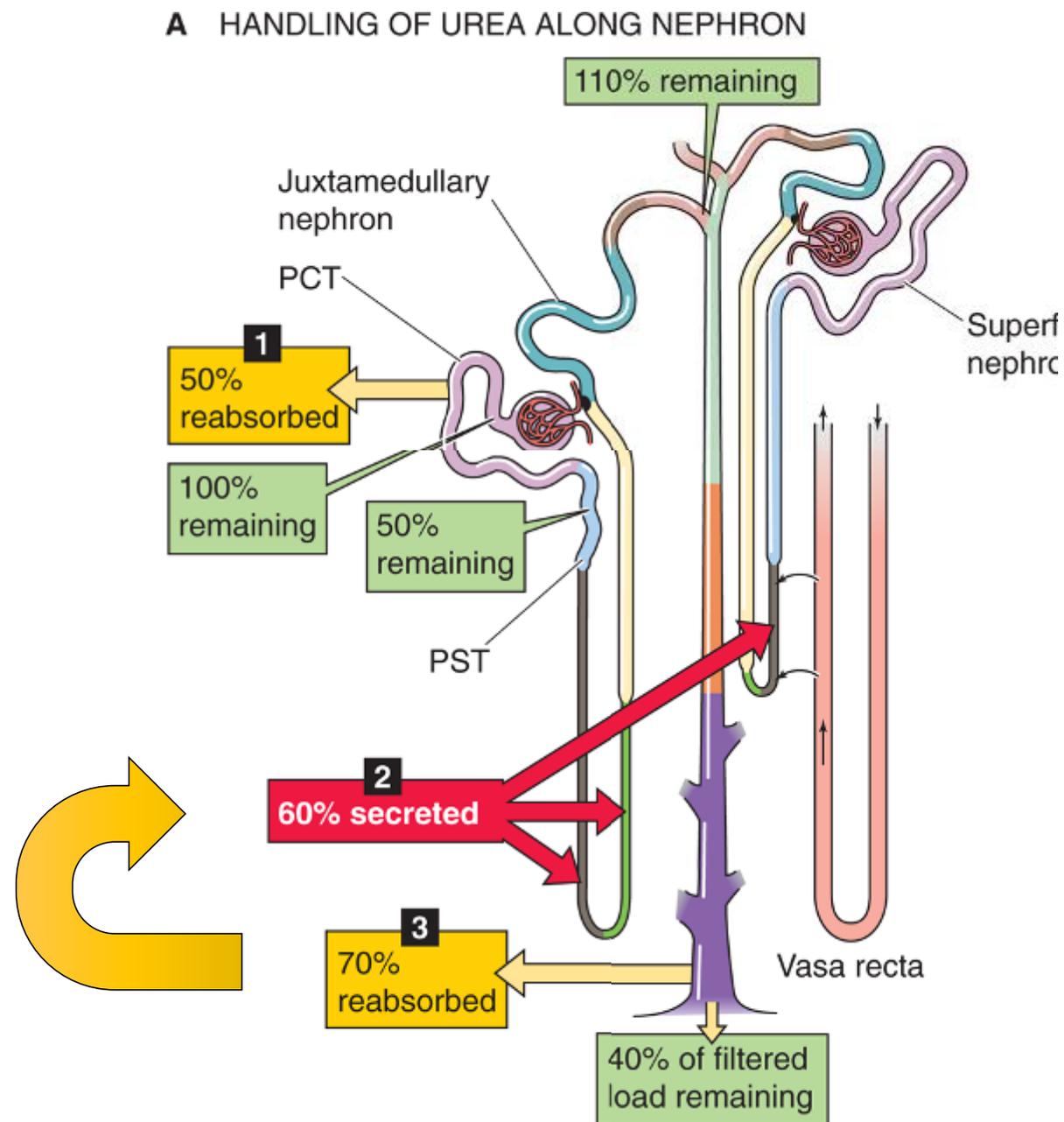
A **uréia** é filtrada, reabsorvida e secretada pelo néfron

-A via paracelular medeia muito da reabsorção da uréia no túbulo proximal

-Transportadores de uréia mediam a difusão facilitada de uréia para dentro da alça de Henle, e para fora do ducto coletor.

-40-50% da uréia filtrada é reabsorvida.

-A uréia é mais concentrada no fluido intersticial na medula renal do que no córtex.



Resumo das funções tubulares

Segmento tubular	Principais funções
Glomérulo/cápsula de Bowman	Ultrafiltração do plasma.
Túbulo proximal	-Reabsorção em massa de solutos e água.
Alça de Henle (ramo descendente)	-Reabsorção de água. <i>-Criação de gradiente osmótico medular.</i> -Secreção de uréia
-Alça de Henle (ramo ascendente)	-Reabsorção de sódio e cloreto <i>-Criação de gradiente osmótico medular.</i> -Secreção de uréia
Túbulo distal e ducto coletor cortical	-Ajute preciso na reabsorção de íons e secreção de potássio
-Ducto coletor cortical e medular	-Reabsorção de uréia. <i>-Reabsorção de água induzida por VP.</i> <i>-Secreção de amônio.</i>

