

## Qual é o problema?

Cerca de 660 milhões de pessoas não têm acesso à água potável hoje em dia.

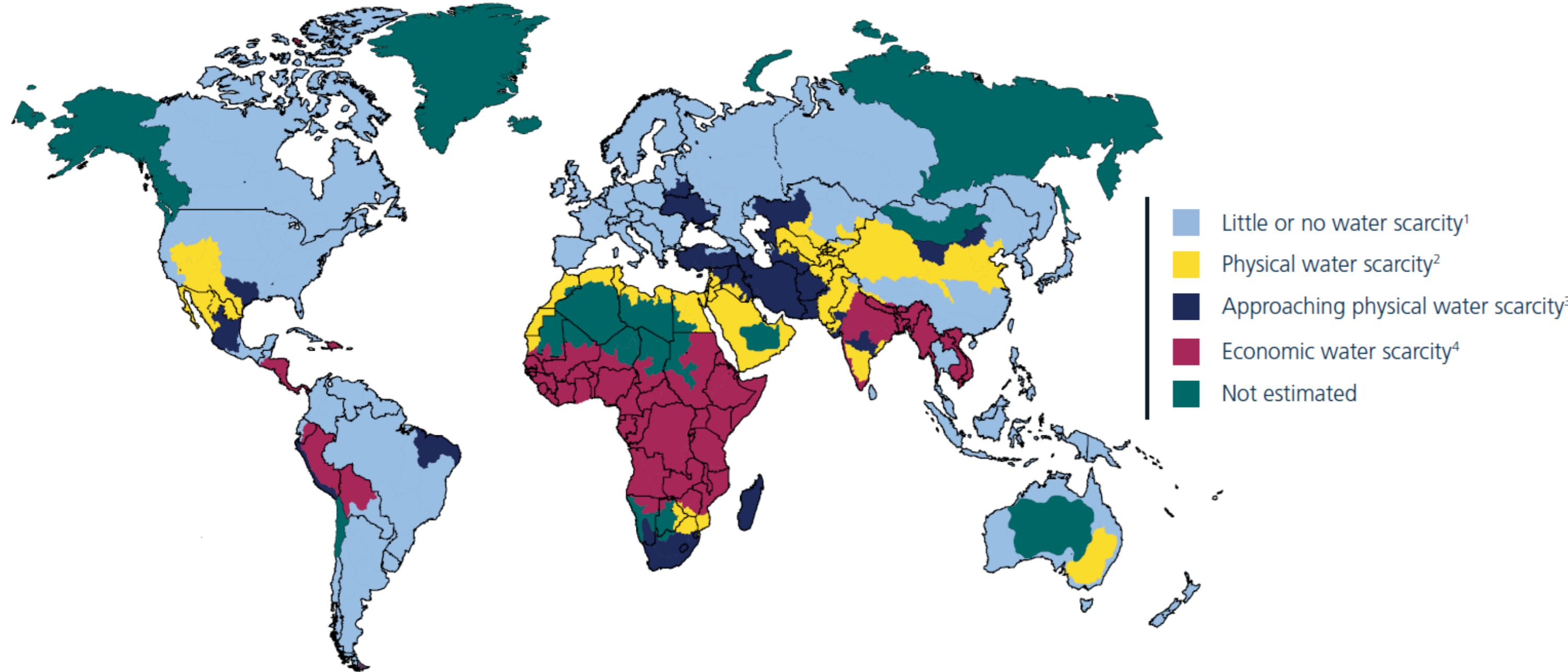


Fig. 1: Visão econômica e física da escassez de água ao redor do globo em 2007 [1].

A quantidade de energia usada para dessalinizar água do mar, através da técnica de osmose reversa, diminuiu drasticamente nos últimos 40 anos devido a uma série de avanços tecnológicos, dos quais se destacam as membranas de maior permeabilidade, instalação de dispositivos de recuperação de energia e bombas de pressão mais eficientes [2].

A melhor membrana de dessalinização da atualidade é apenas 1,5 - 2 vezes mais permeável do que aquela de 20 anos atrás [4].

Qual seria a nova física para otimizar o fluxo? A resposta para isso é o efeito do superfluxo da água quando confinada em nanotubos de carbono.

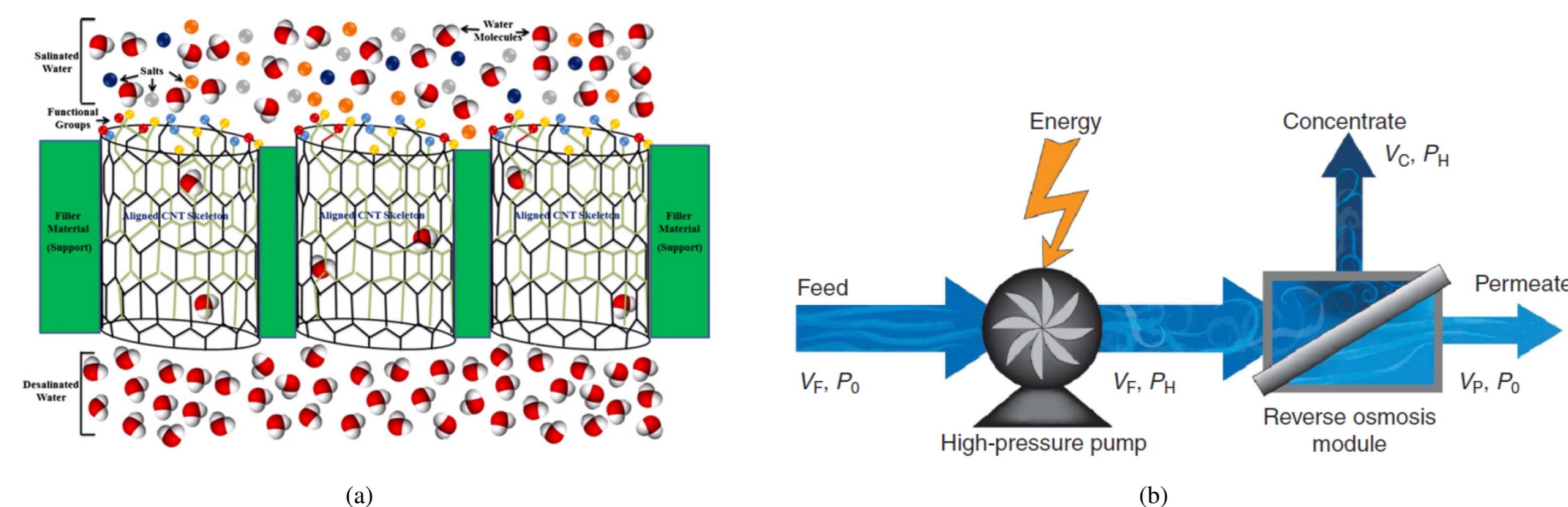


Fig. 2: (a) Nanotubo de carbono como potencial candidato a compor uma membrana de dessalinização [3]. (b) Processo de osmose reversa [5].

## Qual a solução conservadora para esse problema?

A osmose reversa é usada pela maioria das plantas de dessalinização do mundo.

A técnica consiste em pressionar a água salgada contra uma membrana semipermeável. O componente determinante do processo de dessalinização através da osmose reversa é a contra pressão mínima capaz de superar todas as contra pressões do sistema.

Parameter	Commercial Membrane Element Model			
	ESPA 2+ Hydranautics	BW30-400 Dow Filmtec	ESPA 4 Hydranautics	BW30 XLE-440 Dow Filmtec
Product water flow rate, m <sup>3</sup> /day (gpd)	41.6 (11,000)	40.0 (10,500)	49.2 (13,000)	48.1 (12,700)
Nominal NaCl rejection, %	99.6	99.5	99.2	99.0
Test feed pressure, bars (lb/in <sup>2</sup> )	10.3 (150)	15.8 (225)	6.7 (100)	6.7 (100)
Specific Flux, Lmh/bar (gfd/lb/in <sup>2</sup> )	4.9 (0.20)	5.9 (0.24)	8.2 (0.33)	7.8 (0.24)
Membrane surface area, m <sup>2</sup> (ft <sup>2</sup> )	39.5 (430)	35.0 (380)	37.1 (400)	40.8 (440)
Maximum applied pressure, bars (lb/in <sup>2</sup> )	42 (600)	42 (600)	42 (600)	42 (600)
Feed/brine spacer, mm (mil)	0.71 (28)	0.71 (28)	0.71 (28)	0.71 (28)
	High-Rejection BWRO Membrane Elements		Low-Energy BWRO Membrane Elements	

Fig. 3: Exemplo de membranas de dessalinização comerciais de alta rejeição de sais e de baixo consumo energético [2].

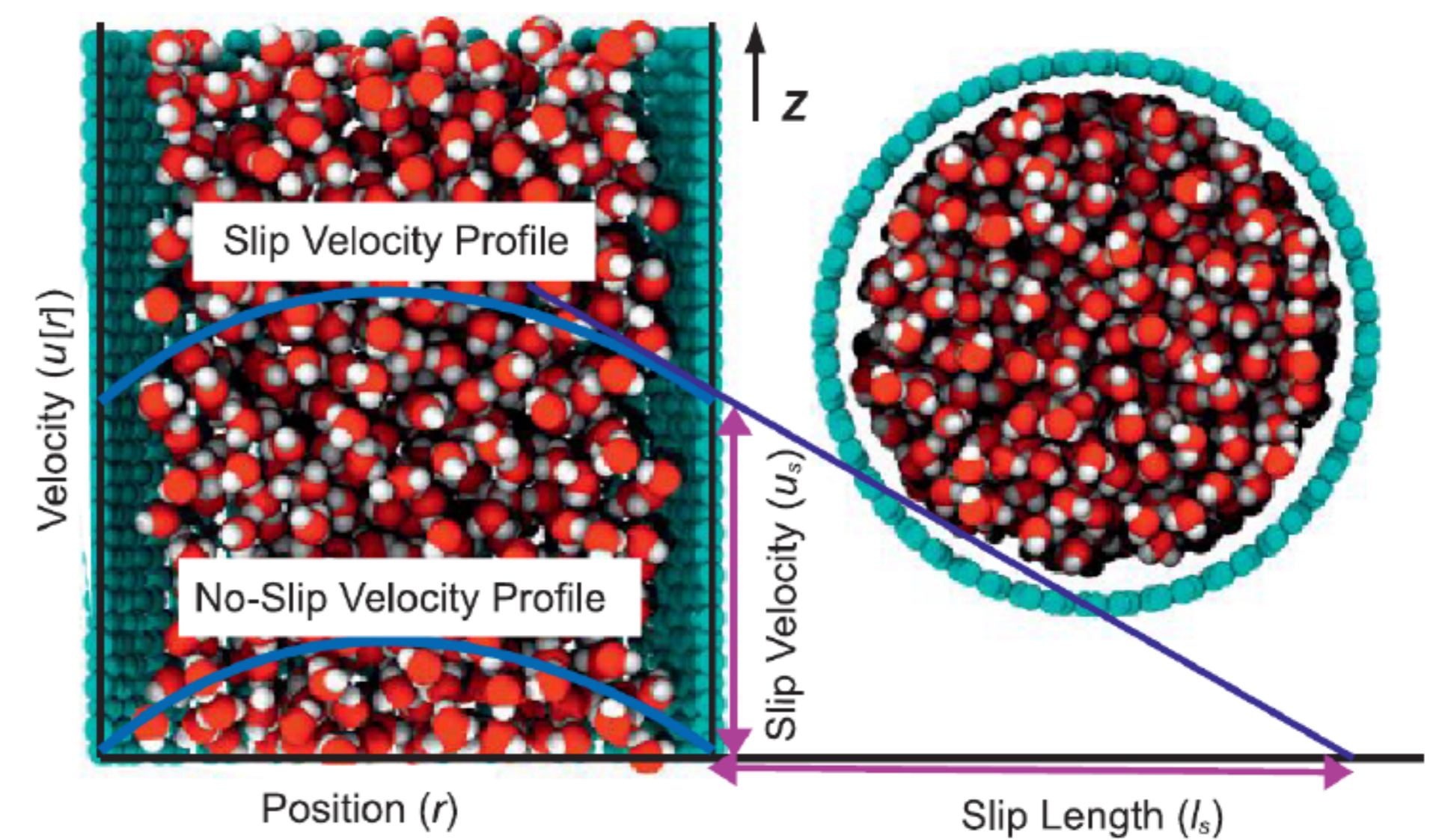
Parâmetros relevantes para a análise da eficiência de uma planta de dessalinização:

- **Parâmetro de Rejeição de Sal:** razão entre a concentração de sal na água concentrada e água injetada.
- **Pressão efetiva (Net Driving Pressure - NDP):** Define-se a pressão efetiva (NDP) pela diferença entre a pressão aplicada na alimentação e a contrapressão do sistema, composta por: pressão osmótica (Op), pressão de saída e pressão de perda ao longo da membrana.
- **Permeabilidade da Membrana:** razão entre a taxa de fluxo e área da membrana.
- **Permeabilidade Específica da Membrana:** razão entre Permeabilidade da Membrana e a Pressão efetiva.

## Qual a solução inovadora para esse problema?

O conceito chave da física de nanofluidos é o enhancement factor, definido como a razão entre o fluxo medido e o fluxo ideal do modelo de Poiseuille sem escorregamento [6].

$$E = \frac{Q_{slip}}{Q_{no-slip}} = \left(1 + \frac{8l_s}{d}\right)$$



Para nanotubos de carbono com diâmetro entre 0,8 e 10 nm, foram reportados comprimentos de escorregamento que variam desde 1 a 500.000 nm e fluxos de 0 a 500.000 vezes o fluxo das equações hidrodinâmicas sem escorregamento [6].

## Qual o meu trabalho? Comparar esses dois processos.

Reconhecer a limitação da tecnologia atual e buscar uma possibilidade de solução inovadora através da nanotecnologia.

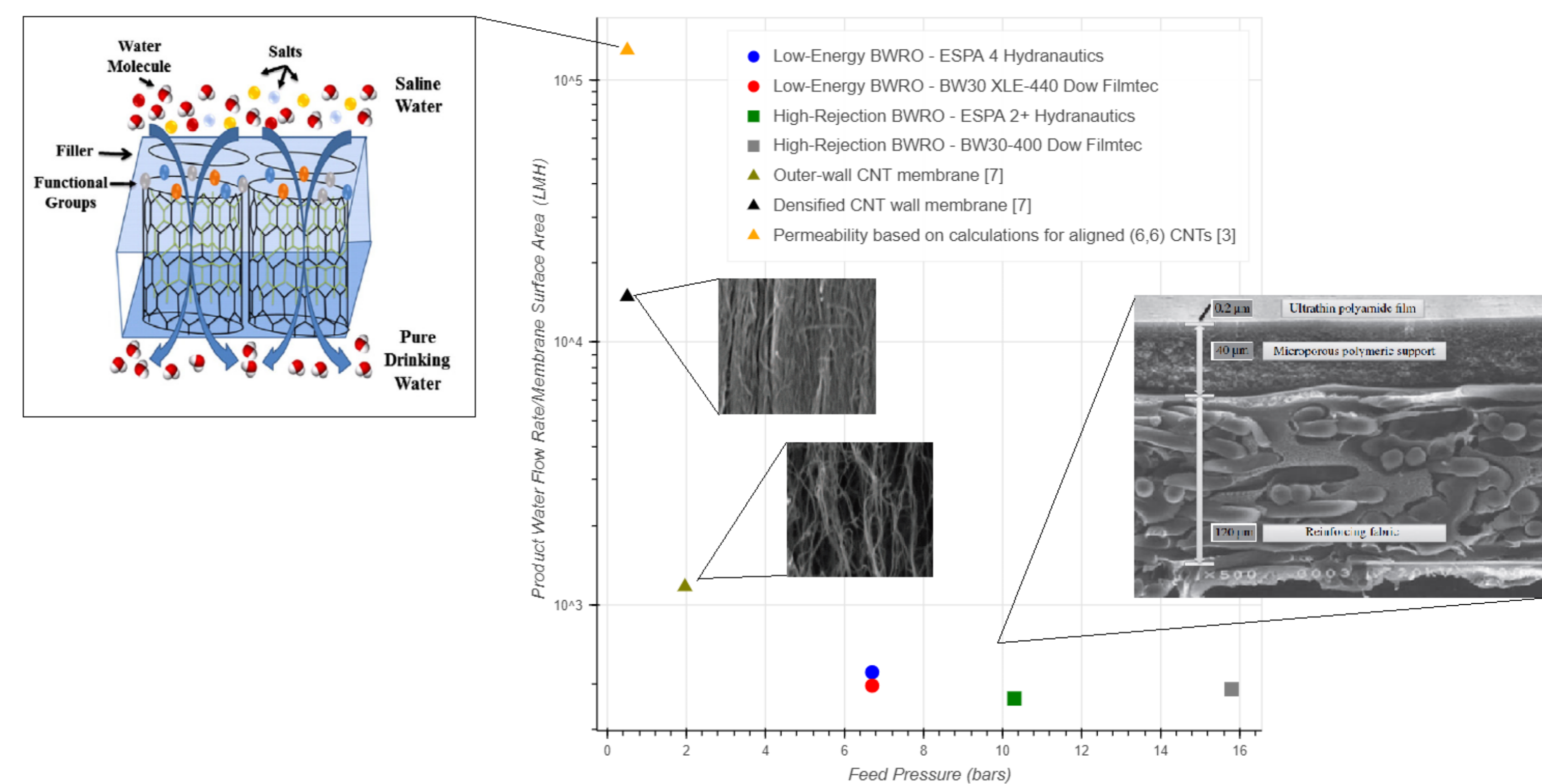


Fig. 4: Comparação das membranas comerciais presentes na Fig.3 com aquelas estudadas por [7] e [3].

Segundo os resultados teóricos reportados pela literatura e explorados em [8], nanotubos de carbono apresentam uma taxa de rejeição de sal de 100%.

## Desafios

- **Desafios de síntese:** a síntese controlada de nanotubos, a escalabilidade do processo de síntese e a implementação das nanoestruturas em uma matriz de membrana são alguns dos desafios relacionados as limitações tecnológicas atuais.
- **Desafios de adaptação:** a implementação das membranas propostas em módulos de dessalinização são fundamentais para se aproveitar a tecnologia atual, bem como se estudar os problemas tradicionais de entupimentos, incrustações e se avaliar o custo de manutenção/troca dessas membranas. Desafios esses relacionados aos problemas tradicionais de engenharia de dessalinização.
- **Desafios relativos à nanotecnologia e ambiente:** a utilização de tais membranas só seria possível a partir de estudos relacionados a possibilidade dos nanotubos se desprenderem e seus impactos no organismo humano e no meio-ambiente.

## Referências

- [1] The United Nations World Water Development Report (2016).
- [2] Nikolay Voutchkov. Desalination Engineering, Planning and Design. Water Globe Consulting, LLC, (2013).
- [3] Rasel Das, Md. Eaqub Ali, Sharifah Bee Abd Hamid, Seeram Ramakrishna, Zaira Zaman Chowdhury. Carbon nanotube membranes for water purification: A bright future in water desalination. Elsevier - Desalination **336**, 97-109 (2015).
- [4] David Cohen-Tanugi e Jeffrey C. Grossman. Nanoporous graphene as a reverse osmosis membrane: Recent insights from theory to simulation. Elsevier - Desalination **366** 59-70 (2015).
- [5] Menachem Elimelech and William A. Phillip. The Future of Seawater Desalination: Energy, Technology, and the Environment. Science **333**, 712 (2011).
- [6] Alan J.H. McGaughey e Davide Mattia. Materials enabling nanofluidic flow enhancement. **Materials Research Society - MRS BULLETIN** (2017).
- [7] Byeongho Lee, Youngbin Baek, Minwoo Lee, Dae Hong Jeong, Hong H. Lee, Jeyong Yoon, Yong Hyup Kim. A carbon nanotube wall membrane for water treatment. Nature Communications. **7109** (2015).
- [8] Jian Liu, Guosheng Shi and Haiping Fang. Water flow in carbon-based nanoporous membranes impacted by interactions between hydrated ions and aromatic rings. J Liu et al. Nanotechnology **28** (8), 084004 (2017).