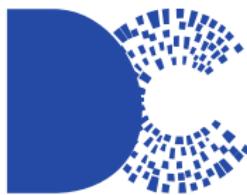




UNIVERSIDADE
FEDERAL DE
SERGIPE



DEPARTAMENTO
DE COMPUTAÇÃO

Busca em cadeias
(Força bruta e Rabin-Karp)
Projeto e Análise de Algoritmos

Bruno Prado

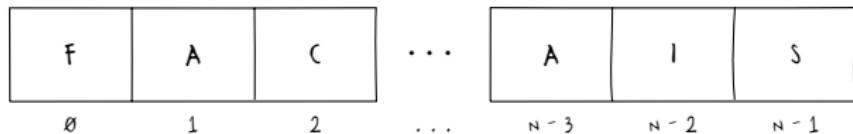
Departamento de Computação / UFS

Introdução

- ▶ O que é uma cadeia?
 - ▶ É uma sequência de símbolos T com tamanho n

Introdução

- ▶ O que é uma cadeia?
 - ▶ É uma sequência de símbolos T com tamanho n
 - ▶ Os símbolos são definidos por um alfabeto finito Σ

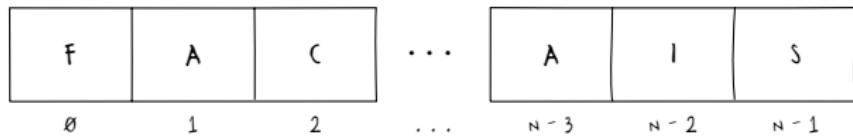


$$\Sigma = \{a, b, \dots, y, z\}$$

Introdução

- ▶ O que é uma cadeia?

- ▶ É uma sequência de símbolos T com tamanho n
- ▶ Os símbolos são definidos por um alfabeto finito Σ

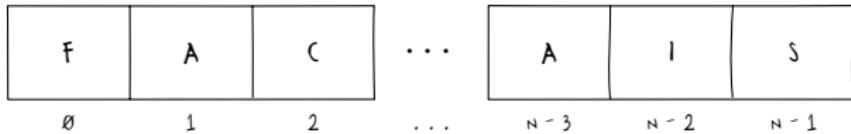


$$\Sigma = \{a, b, \dots, y, z\}$$

- ▶ Aplicações multidisciplinares
 - ▶ Biologia: representação da cadeia de DNA, sendo composta pelos símbolos A, C, G, T

Introdução

- ▶ O que é uma cadeia?
 - ▶ É uma sequência de símbolos T com tamanho n
 - ▶ Os símbolos são definidos por um alfabeto finito Σ

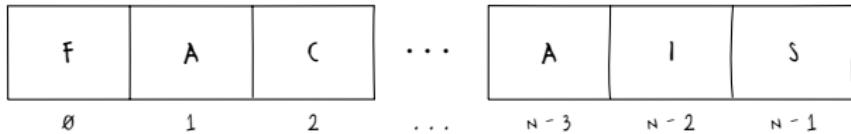


$$\Sigma = \{a, b, \dots, y, z\}$$

- ▶ Aplicações multidisciplinares
 - ▶ Biologia: representação da cadeia de DNA, sendo composta pelos símbolos A, C, G, T
 - ▶ Computação: armazenamento de texto através do tipo *string*, com o padrão de codificação ASCII

Introdução

- ▶ O que é uma cadeia?
 - ▶ É uma sequência de símbolos T com tamanho n
 - ▶ Os símbolos são definidos por um alfabeto finito Σ



$$\Sigma = \{a, b, \dots, y, z\}$$

- ▶ Aplicações multidisciplinares
 - ▶ Biologia: representação da cadeia de DNA, sendo composta pelos símbolos A, C, G, T
 - ▶ Computação: armazenamento de texto através do tipo *string*, com o padrão de codificação ASCII
 - ▶ ...

Introdução

- ▶ Notação e terminologia
 - ▶ Todos as cadeias de tamanho finito que podem ser construídas do alfabeto finito Σ é definido por Σ^*

Introdução

- ▶ Notação e terminologia
 - ▶ Todos as cadeias de tamanho finito que podem ser construídas do alfabeto finito Σ é definido por Σ^*
 - ▶ Uma cadeia vazia é denotada pelo símbolo ϵ

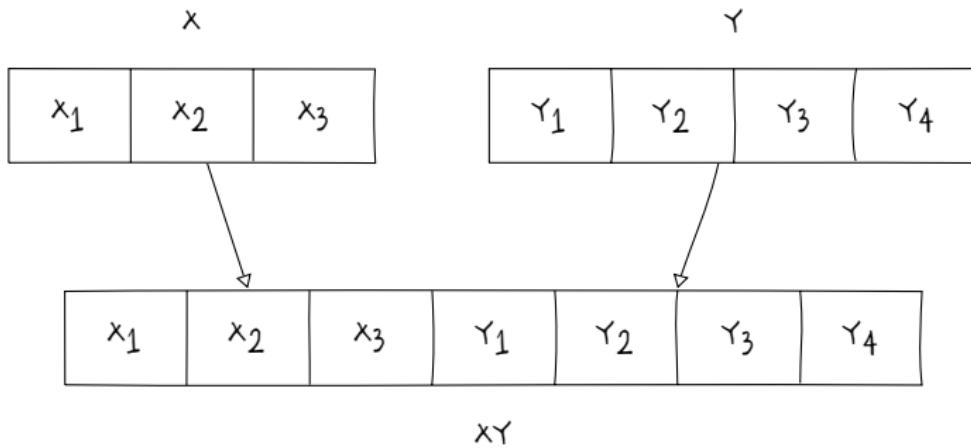
Introdução

- ▶ Notação e terminologia
 - ▶ Todos as cadeias de tamanho finito que podem ser construídas do alfabeto finito Σ é definido por Σ^*
 - ▶ Uma cadeia vazia é denotada pelo símbolo ϵ
 - ▶ O tamanho de uma cadeia x é definida por $|x|$

Introdução

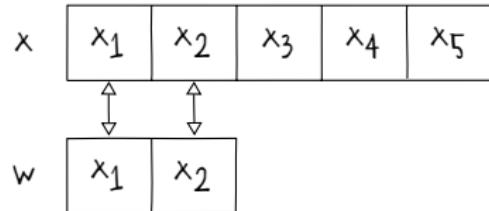
► Notação e terminologia

- Todos as cadeias de tamanho finito que podem ser construídas do alfabeto finito Σ é definido por Σ^*
- Uma cadeia vazia é denotada pelo símbolo ϵ
- O tamanho de uma cadeia x é definida por $|x|$
- A concatenação de duas cadeias x e y resulta em uma cadeia xy com os caracteres de x seguidos dos caracteres de y , com tamanho total de $|x| + |y|$



Introdução

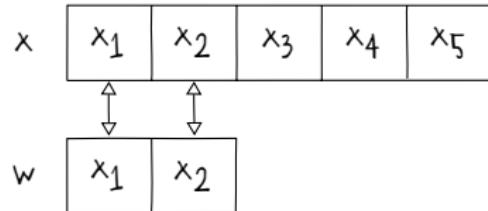
- ▶ Notação e terminologia
 - ▶ Prefixo: a cadeia w é um prefixo da cadeia x ($w \sqsubset x$) se $x = wy$, com $y \in \Sigma^*$ e $|w| \leq |x|$



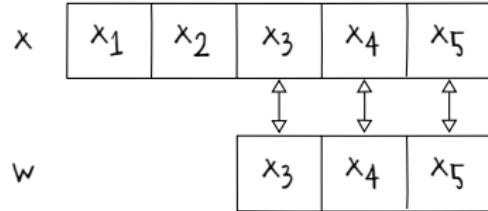
Introdução

▶ Notação e terminologia

- ▶ Prefixo: a cadeia w é um prefixo da cadeia x ($w \sqsubset x$) se $x = wy$, com $y \in \Sigma^*$ e $|w| \leq |x|$

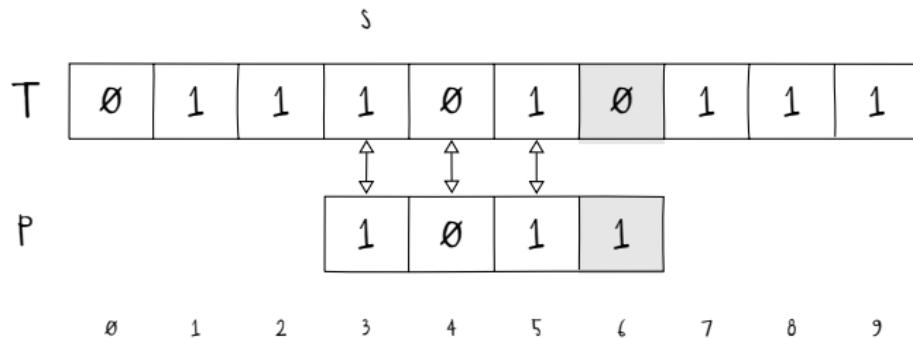


- ▶ Sufixo: a cadeia w é sufixo da cadeia x ($w \sqsupset x$) se $x = yw$, com $y \in \Sigma^*$ e $|w| \leq |x|$



Introdução

- ▶ Como pode ser definida a busca em cadeias?
 - ▶ É o processo para encontrar todas as ocorrências de um padrão P em uma cadeia T que possuem m e n símbolos, respectivamente, onde $m \leq n$



$$\begin{aligned}\sum &= \{0, 1\} \\ |P| = m &= 4, |T| = n = 10 \\ 0 \leq s &\leq n - m\end{aligned}$$

Busca em cadeias

► Força bruta

```
1 // Padrão de tipos por tamanho
2 #include <stdint.h>
3 // Busca em cadeias por força bruta
4 void forca_bruta(int32_t* R, char* T, char* P) {
5     // Tamanhos das cadeias T e P
6     int32_t n = strlen(T), m = strlen(P);
7     // Iterando na cadeia T até o índice n - m
8     for(int32_t s = 0; s <= n - m; s++) {
9         // Contador de diferenças
10        uint32_t d = 0;
11        // Iterando na cadeia P enquanto d for zero
12        for(int32_t i = 0; i < m && d == 0; i++) {
13            // Caso os símbolos sejam diferentes
14            if(P[i] != T[s + i]) d++;
15        }
16        // O índice da combinação é armazenado
17        if(d == 0) inserir(R, s);
18    }
19 }
```

Busca em cadeias

- ▶ Força bruta
 - ▶ Realizando a busca pelo padrão $P = ara$ na cadeia $T = araradearacaju$ através do seu deslocamento e comparação um para um dos símbolos das cadeias

\S

T

A	R	A	R	A	D	E	A	R	A	C	A	J	U
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

P

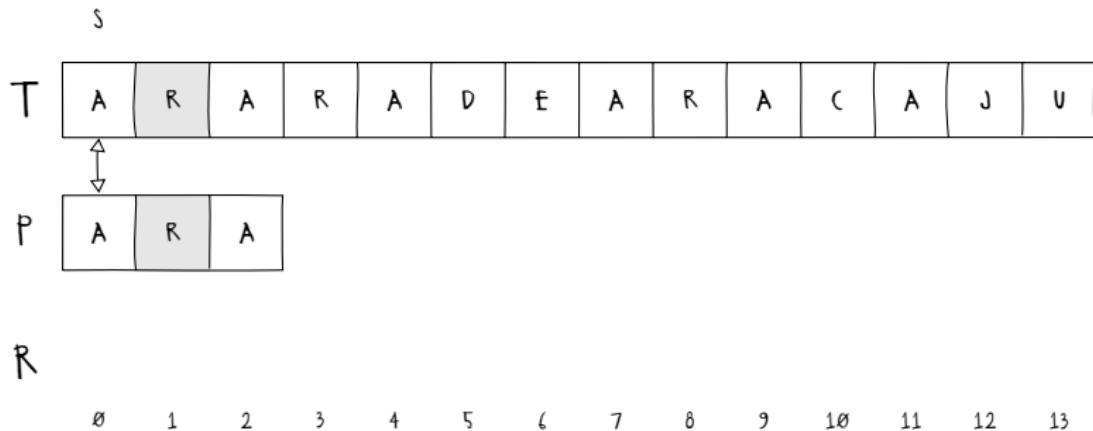
A	R	A
---	---	---

R

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

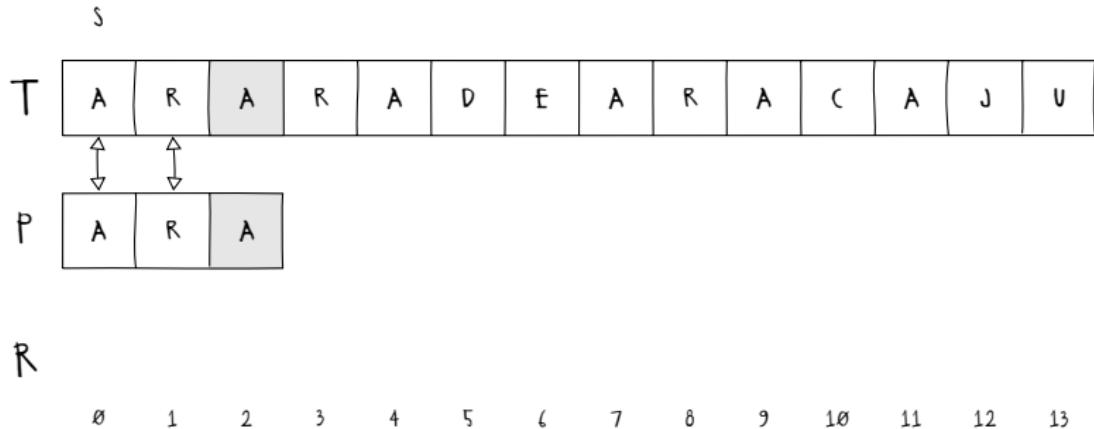
Busca em cadeias

- ▶ Força bruta
 - ▶ Realizando a busca pelo padrão $P = ara$ na cadeia $T = araradearacaju$ através do seu deslocamento e comparação um para um dos símbolos das cadeias



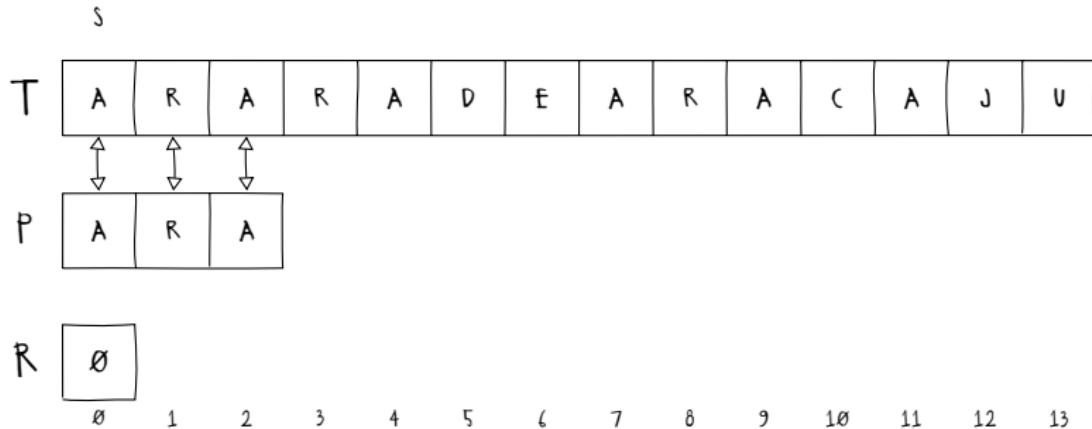
Busca em cadeias

- ▶ Força bruta
 - ▶ Realizando a busca pelo padrão $P = ara$ na cadeia $T = araradearacaju$ através do seu deslocamento e comparação um para um dos símbolos das cadeias



Busca em cadeias

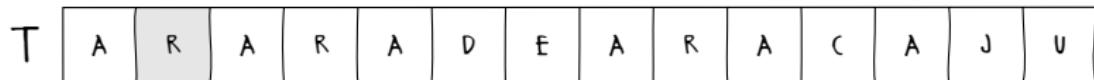
- ▶ Força bruta
 - ▶ Realizando a busca pelo padrão $P = ara$ na cadeia $T = araradearacaju$ através do seu deslocamento e comparação um para um dos símbolos das cadeias



Busca em cadeias

- ▶ Força bruta
 - ▶ Realizando a busca pelo padrão $P = ara$ na cadeia $T = araradearacaju$ através do seu deslocamento e comparação um para um dos símbolos das cadeias

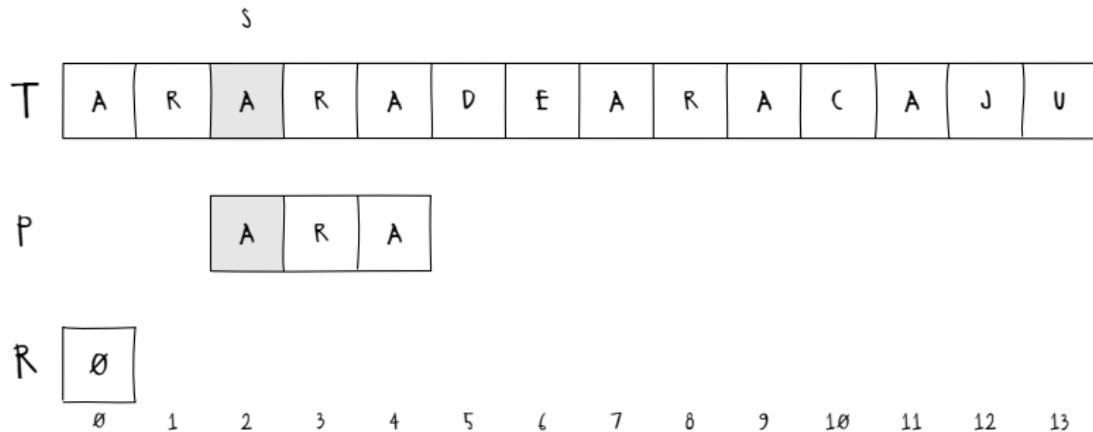
S



Busca em cadeias

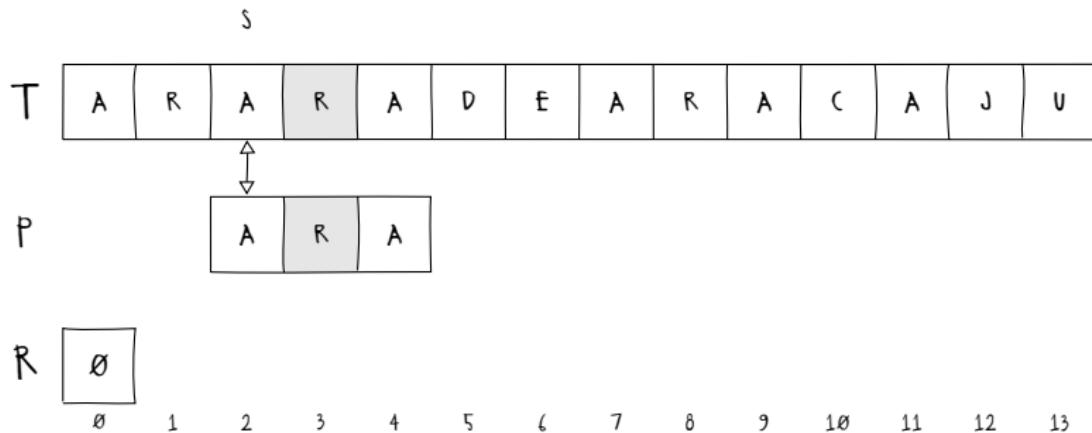
- ▶ Força bruta

- ▶ Realizando a busca pelo padrão $P = ara$ na cadeia $T = araradearacaju$ através do seu deslocamento e comparação um para um dos símbolos das cadeias



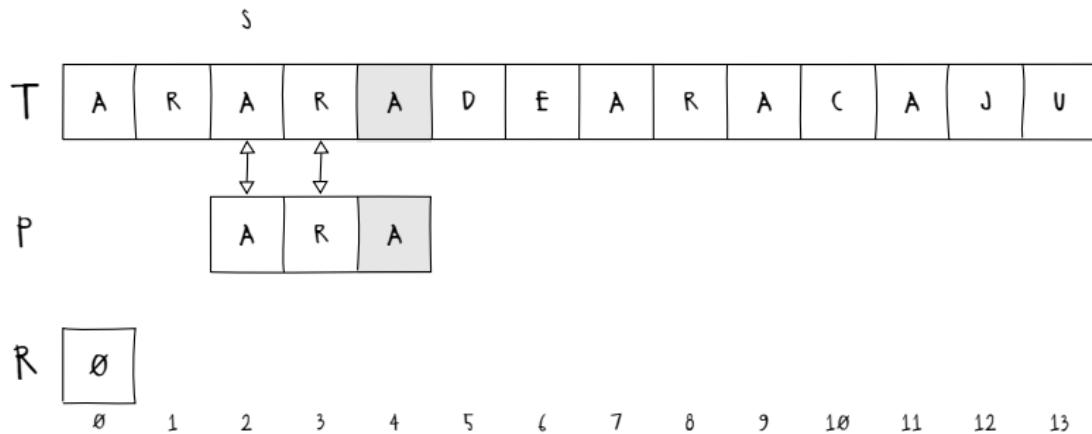
Busca em cadeias

- ▶ Força bruta
 - ▶ Realizando a busca pelo padrão $P = ara$ na cadeia $T = araradearacaju$ através do seu deslocamento e comparação um para um dos símbolos das cadeias



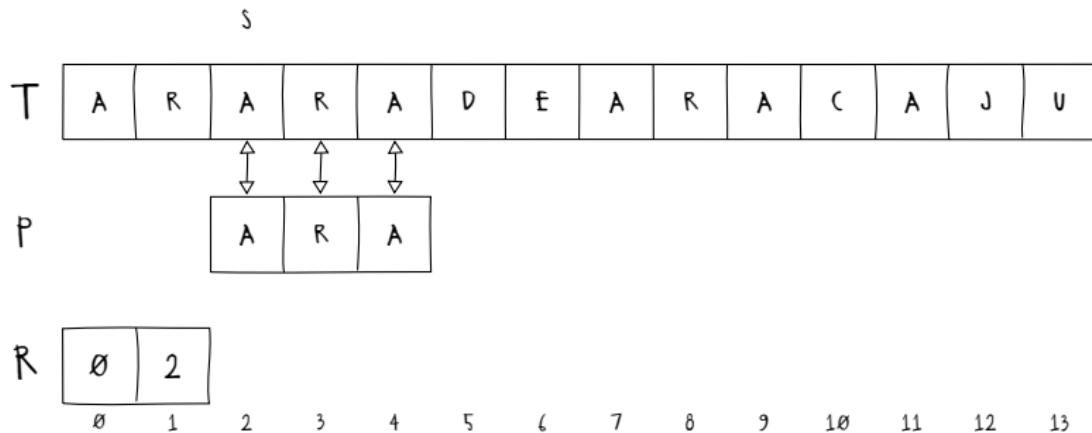
Busca em cadeias

- ▶ Força bruta
 - ▶ Realizando a busca pelo padrão $P = ara$ na cadeia $T = araradearacaju$ através do seu deslocamento e comparação um para um dos símbolos das cadeias



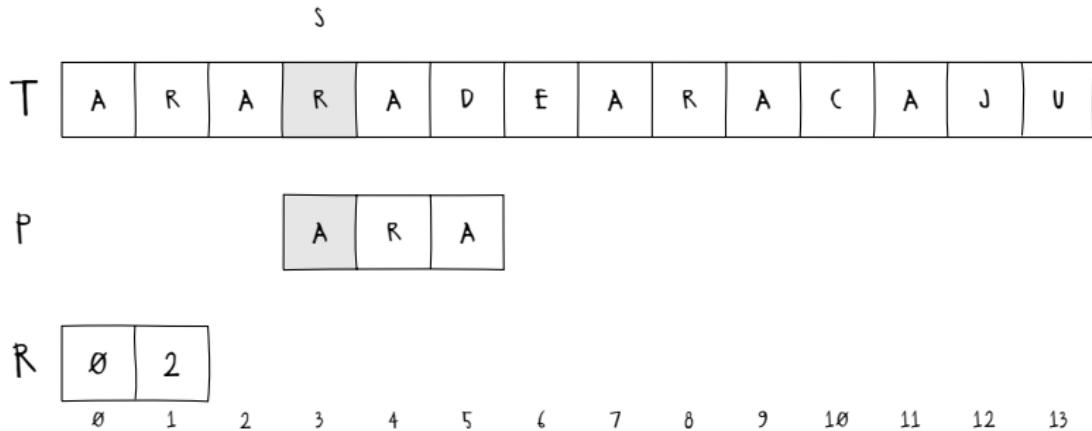
Busca em cadeias

- ▶ Força bruta
 - ▶ Realizando a busca pelo padrão $P = ara$ na cadeia $T = araradearacaju$ através do seu deslocamento e comparação um para um dos símbolos das cadeias



Busca em cadeias

- ▶ Força bruta
 - ▶ Realizando a busca pelo padrão $P = ara$ na cadeia $T = araradearacaju$ através do seu deslocamento e comparação um para um dos símbolos das cadeias



Busca em cadeias

- ▶ Força bruta
 - ▶ Realizando a busca pelo padrão $P = ara$ na cadeia $T = araradearacaju$ através do seu deslocamento e comparação um para um dos símbolos das cadeias

S

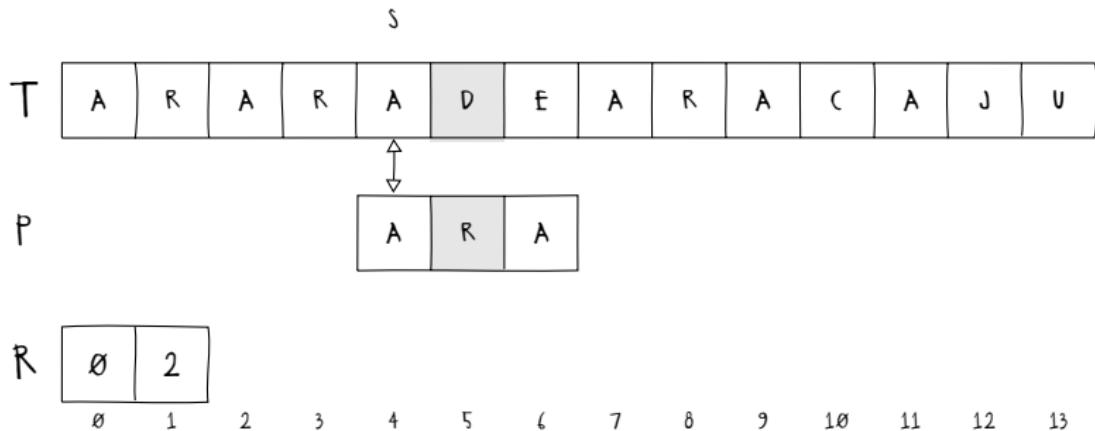
T [A | R | A | R | A | D | E | A | R | A | C | A | J | U]

P [A | R | A]

R [Ø | 2]
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

Busca em cadeias

- ▶ Força bruta
 - ▶ Realizando a busca pelo padrão $P = ara$ na cadeia $T = araradearacaju$ através do seu deslocamento e comparação um para um dos símbolos das cadeias



Busca em cadeias

- ▶ Força bruta
 - ▶ Realizando a busca pelo padrão $P = ara$ na cadeia $T = araradearacaju$ através do seu deslocamento e comparação um para um dos símbolos das cadeias

S

T [A | R | A | R | A | D | E | A | R | A | C | A | J | U]

P

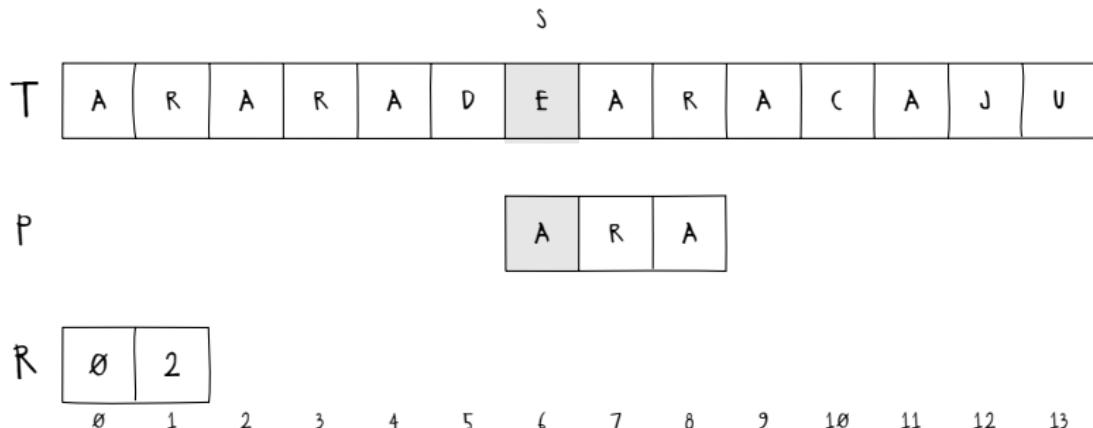
[A | R | A]

R [Ø | 2]

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

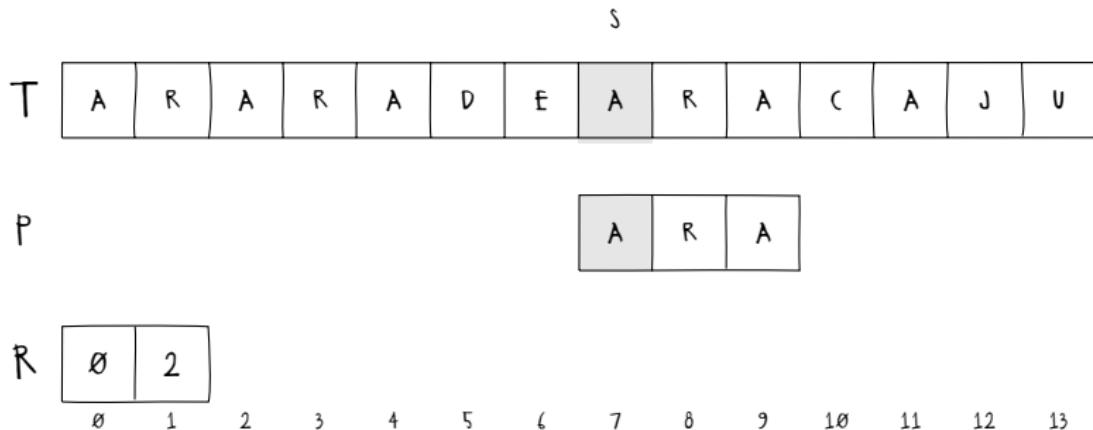
Busca em cadeias

- ▶ Força bruta
 - ▶ Realizando a busca pelo padrão $P = ara$ na cadeia $T = araradearacaju$ através do seu deslocamento e comparação um para um dos símbolos das cadeias



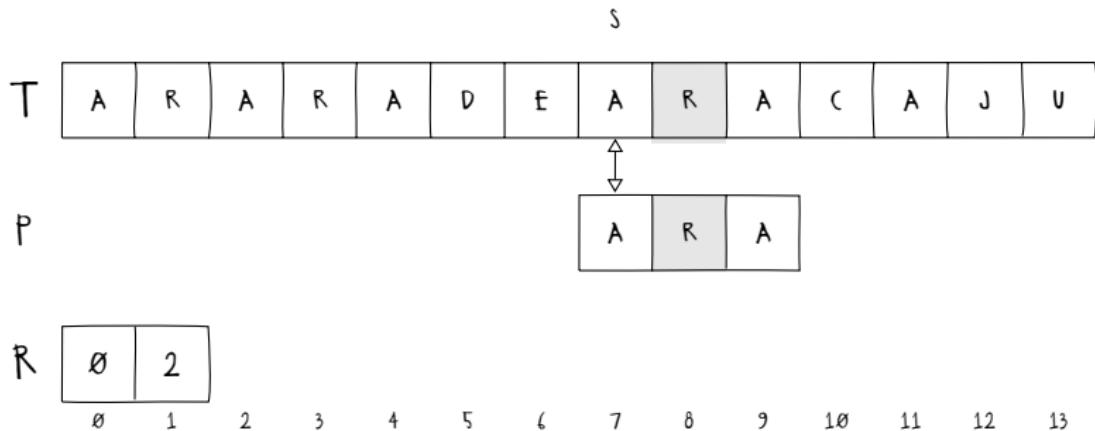
Busca em cadeias

- ▶ Força bruta
 - ▶ Realizando a busca pelo padrão $P = ara$ na cadeia $T = araradearacaju$ através do seu deslocamento e comparação um para um dos símbolos das cadeias



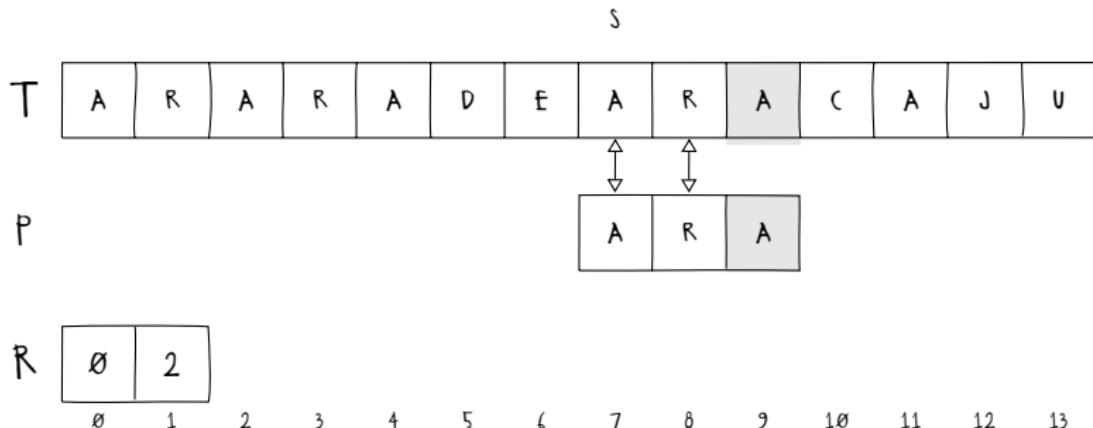
Busca em cadeias

- ▶ Força bruta
 - ▶ Realizando a busca pelo padrão $P = ara$ na cadeia $T = araradearacaju$ através do seu deslocamento e comparação um para um dos símbolos das cadeias



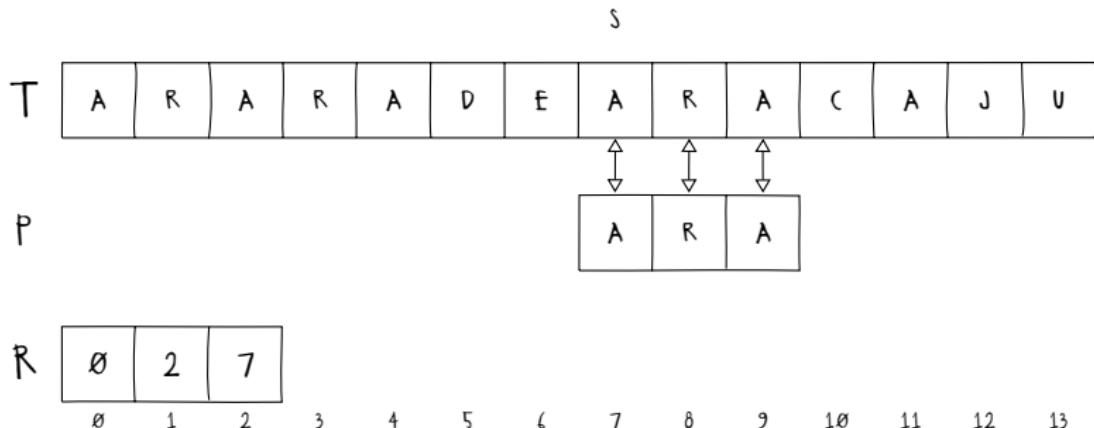
Busca em cadeias

- ▶ Força bruta
 - ▶ Realizando a busca pelo padrão $P = ara$ na cadeia $T = araradearacaju$ através do seu deslocamento e comparação um para um dos símbolos das cadeias



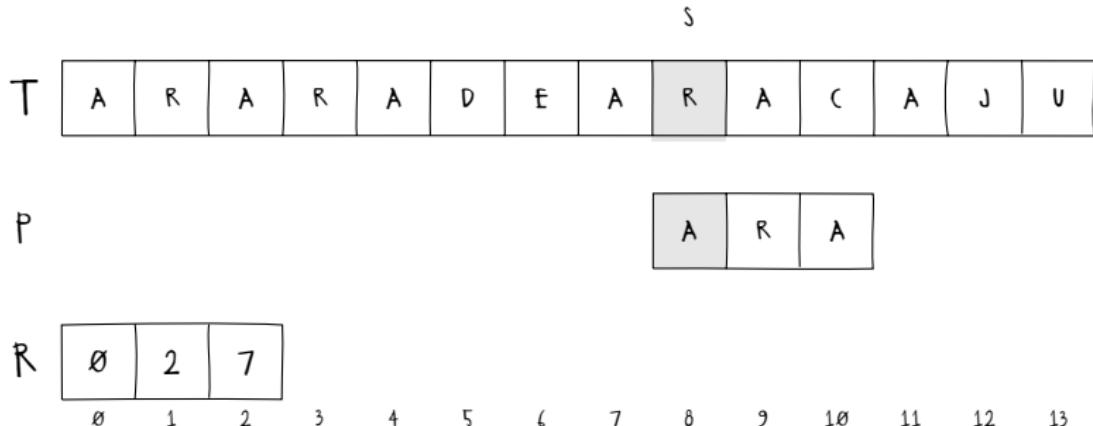
Busca em cadeias

- ▶ Força bruta
 - ▶ Realizando a busca pelo padrão $P = ara$ na cadeia $T = araradearacaju$ através do seu deslocamento e comparação um para um dos símbolos das cadeias



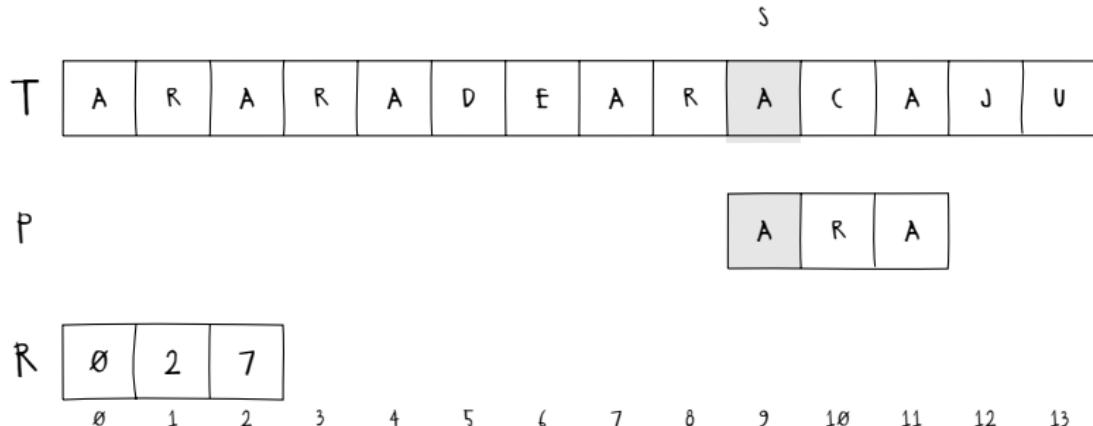
Busca em cadeias

- ▶ Força bruta
 - ▶ Realizando a busca pelo padrão $P = ara$ na cadeia $T = araradearacaju$ através do seu deslocamento e comparação um para um dos símbolos das cadeias



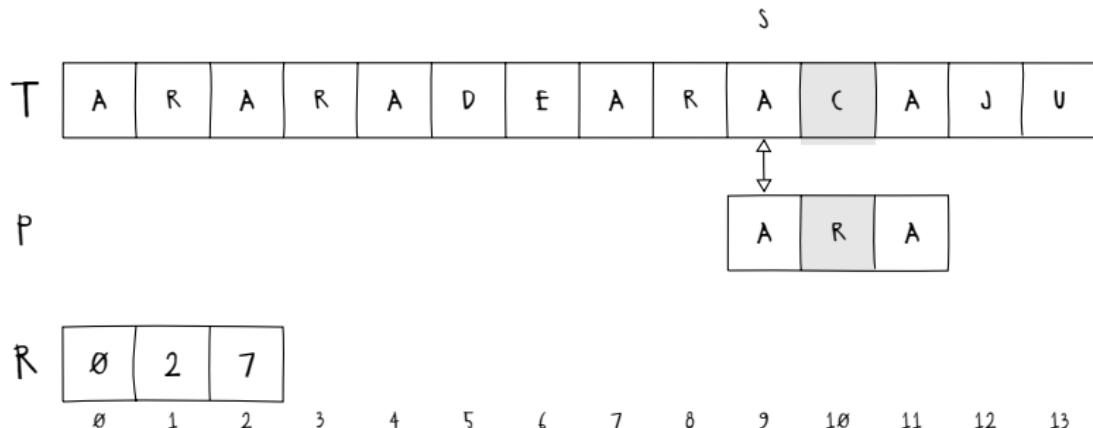
Busca em cadeias

- ▶ Força bruta
 - ▶ Realizando a busca pelo padrão $P = ara$ na cadeia $T = araradearacaju$ através do seu deslocamento e comparação um para um dos símbolos das cadeias



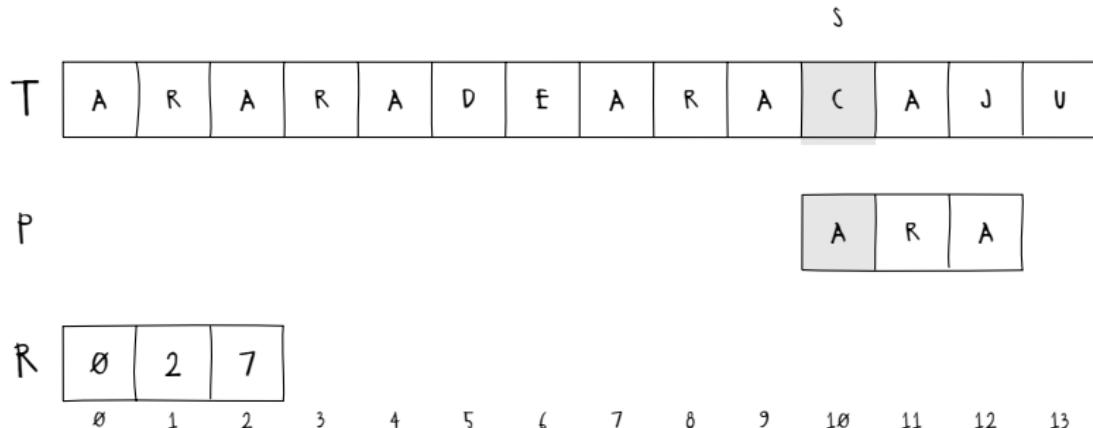
Busca em cadeias

- ▶ Força bruta
 - ▶ Realizando a busca pelo padrão $P = ara$ na cadeia $T = araradearacaju$ através do seu deslocamento e comparação um para um dos símbolos das cadeias



Busca em cadeias

- ▶ Força bruta
 - ▶ Realizando a busca pelo padrão $P = ara$ na cadeia $T = araradearacaju$ através do seu deslocamento e comparação um para um dos símbolos das cadeias



Busca em cadeias

- ▶ Força bruta
 - ▶ Realizando a busca pelo padrão $P = ara$ na cadeia $T = araradearacaju$ através do seu deslocamento e comparação um para um dos símbolos das cadeias

S

T

A	R	A	R	A	D	E	A	R	A	C	A	J	U
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

P

A	R	A
---	---	---

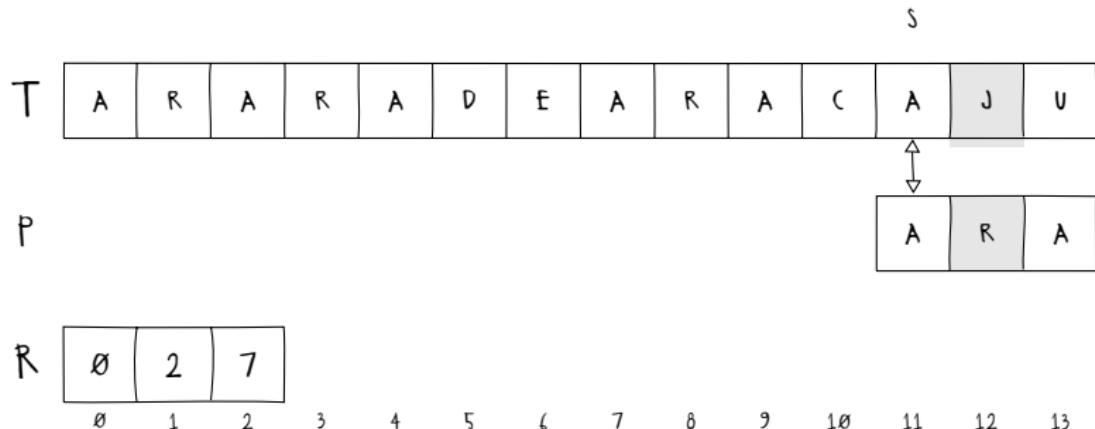
R

\emptyset	2	7
-------------	---	---

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

Busca em cadeias

- ▶ Força bruta
 - ▶ Realizando a busca pelo padrão $P = ara$ na cadeia $T = araradearacaju$ através do seu deslocamento e comparação um para um dos símbolos das cadeias



Busca em cadeias

- ▶ Força bruta
 - ▶ Análise de complexidade
 - ▶ Espaço $O(n + m)$
 - ▶ Tempo $\Omega(n - m + 1)$ e $O((n - m + 1) \times m)$

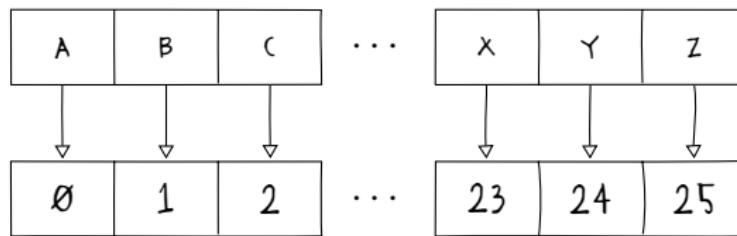
Busca em cadeias

- ▶ Rabin-Karp
 - ▶ A busca na cadeia de símbolos é feita com o pré-processamento do padrão de texto

Busca em cadeias

► Rabin-Karp

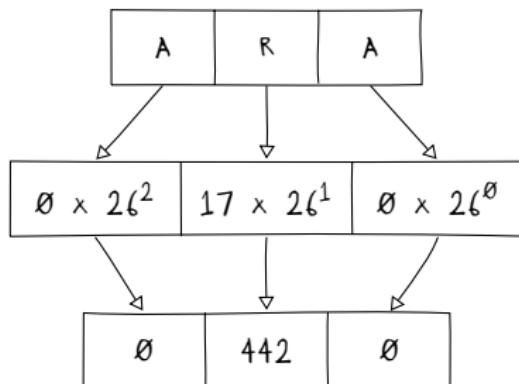
- A busca na cadeia de símbolos é feita com o pré-processamento do padrão de texto
- Considerando um alfabeto $\Sigma = \{a, b, \dots, y, z\}$ com 26 símbolos, as cadeias podem ser representadas como números em base $b = |\Sigma| = 26$



Busca em cadeias

► Rabin-Karp

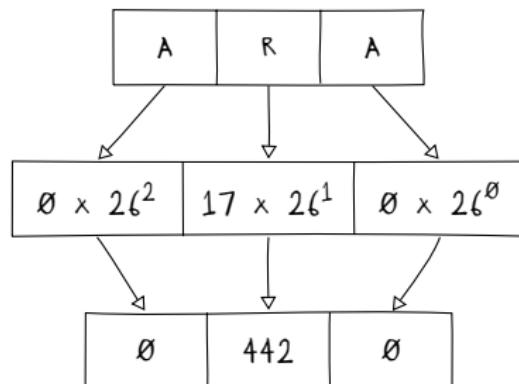
- A busca na cadeia de símbolos é feita com o pré-processamento do padrão de texto
- Considerando um alfabeto $\Sigma = \{a, b, \dots, y, z\}$ com 26 símbolos, as cadeias podem ser representadas como números em base $b = |\Sigma| = 26$



Busca em cadeias

► Rabin-Karp

- A busca na cadeia de símbolos é feita com o pré-processamento do padrão de texto
- Considerando um alfabeto $\Sigma = \{a, b, \dots, y, z\}$ com 26 símbolos, as cadeias podem ser representadas como números em base $b = |\Sigma| = 26$



$$P = ara \rightarrow p = 0 + 442 + 0 = 442$$

Busca em cadeias

- ▶ Rabin-Karp
 - ▶ A comparação das cadeias é feita comparando as representações numéricas do texto t e do padrão p

Busca em cadeias

- ▶ Rabin-Karp
 - ▶ A comparação das cadeias é feita comparando as representações numéricas do texto t e do padrão p
 - ▶ Como o alfabeto e o padrão de busca podem conter muitos símbolos, o valor numérico $b^m - 1$ pode não ser representável na plataforma ($2^{64} - 1 \leq b^m - 1$)

Busca em cadeias

- ▶ Rabin-Karp
 - ▶ A comparação das cadeias é feita comparando as representações numéricas do texto t e do padrão p
 - ▶ Como o alfabeto e o padrão de busca podem conter muitos símbolos, o valor numérico $b^m - 1$ pode não ser representável na plataforma ($2^{64} - 1 \leq b^m - 1$)
 - ▶ Para contornar esta limitação, é aplicada a operação de módulo com um número primo q para restringir o tamanho do número gerado $p \bmod q$ e reduzir as chances de colisões

Busca em cadeias

- ▶ Rabin-Karp
 - ▶ A comparação das cadeias é feita comparando as representações numéricas do texto t e do padrão p
 - ▶ Como o alfabeto e o padrão de busca podem conter muitos símbolos, o valor numérico $b^m - 1$ pode não ser representável na plataforma ($2^{64} - 1 \leq b^m - 1$)
 - ▶ Para contornar esta limitação, é aplicada a operação de módulo com um número primo q para restringir o tamanho do número gerado $p \bmod q$ e reduzir as chances de colisões

O valor de $b \times q$ precisa ser representável ($b \times q \leq 2^{64} - 1$)

Busca em cadeias

► Rabin-Karp

```
1 // Padrão de tipos por tamanho
2 #include <stdint.h>
3 // Busca em cadeias com Rabin-Karp
4 void rabin_karp(int32_t* R, char* T, char* P, uint32_t
5   b, uint32_t q) {
6   // Variáveis auxiliares
7   int32_t n = strlen(T), m = strlen(P), h = pow(b, m
8     - 1) % q, t = 0, p = 0;
9   // Pré-processamento numérico das cadeias p e t
10  for(int32_t i = 0; i < m; i++) {
11    p = (b * p + v(P[i])) % q;
12    t = (b * t + v(T[i])) % q;
13  }
14  ...
15 }
```

Busca em cadeias

► Rabin-Karp

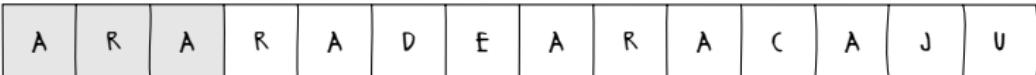
```
1 // Padrão de tipos por tamanho
2 #include <stdint.h>
3 // Busca em cadeias com Rabin-Karp
4 void rabin_karp(int32_t* R, char* T, char* P, uint32_t
5   b, uint32_t q) {
6     // Variáveis auxiliares
7     int32_t n = strlen(T), m = strlen(P), h = pow(b, m
8       - 1) % q, t = 0, p = 0;
9     ...
10    ...
11    // Iterando na cadeia T até o índice n - m
12    for(int32_t s = 0; s <= n - m; s++) {
13      // Comparando o padrão com a cadeia
14      if((p == t) && igual(P, m, T, s))
15        // Armazenando índice de combinação
16        inserir(R, s);
17      // Deslocamento numérico
18      t = (b * (t - v(T[s]) * h) + v(T[s + m])) % q;
19    }
20  }
```

Busca em cadeias

► Rabin-Karp

- Cada subcadeia de T de tamanho m tem seu valor numérico t_s calculado e comparado com o valor de p , considerando $b = 26, q = 5$ e $p = 442 \bmod 5 = 2$

$$t_s = 2$$

T 

P 

$$p = 2$$

R

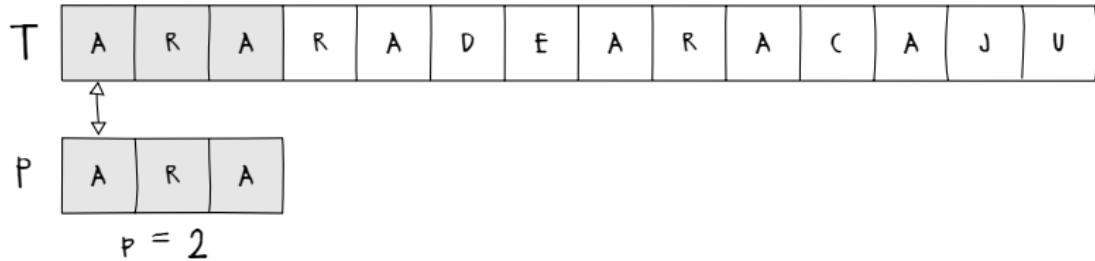
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

Busca em cadeias

► Rabin-Karp

- Cada subcadeia de T de tamanho m tem seu valor numérico t_s calculado e comparado com o valor de p , considerando $b = 26, q = 5$ e $p = 442 \bmod 5 = 2$

$$t_s = 2$$



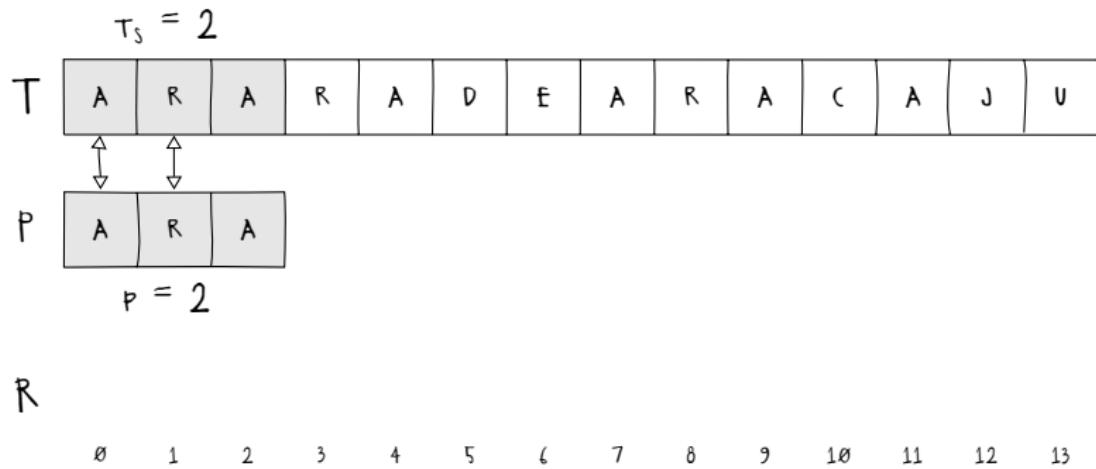
R

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

Busca em cadeias

► Rabin-Karp

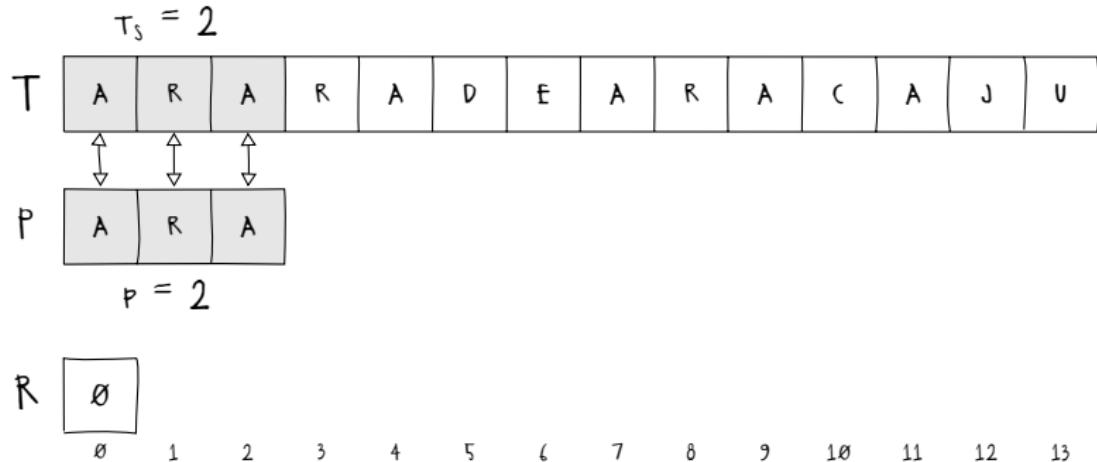
- Cada subcadeia de T de tamanho m tem seu valor numérico t_s calculado e comparado com o valor de p , considerando $b = 26, q = 5$ e $p = 442 \bmod 5 = 2$



Busca em cadeias

► Rabin-Karp

- Cada subcadeia de T de tamanho m tem seu valor numérico t_s calculado e comparado com o valor de p , considerando $b = 26, q = 5$ e $p = 442 \bmod 5 = 2$

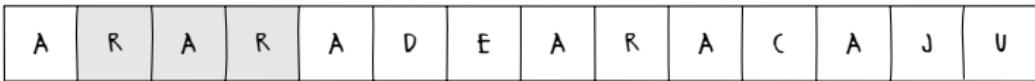


Busca em cadeias

► Rabin-Karp

- Cada subcadeia de T de tamanho m tem seu valor numérico t_s calculado e comparado com o valor de p , considerando $b = 26, q = 5$ e $p = 442 \bmod 5 = 2$

$$t_s = 4$$

T 

P 

$$p = 2$$

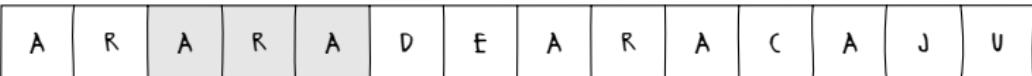
R 
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

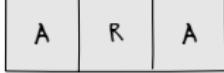
Busca em cadeias

► Rabin-Karp

- Cada subcadeia de T de tamanho m tem seu valor numérico t_s calculado e comparado com o valor de p , considerando $b = 26$, $q = 5$ e $p = 442 \bmod 5 = 2$

$$t_s = 2$$

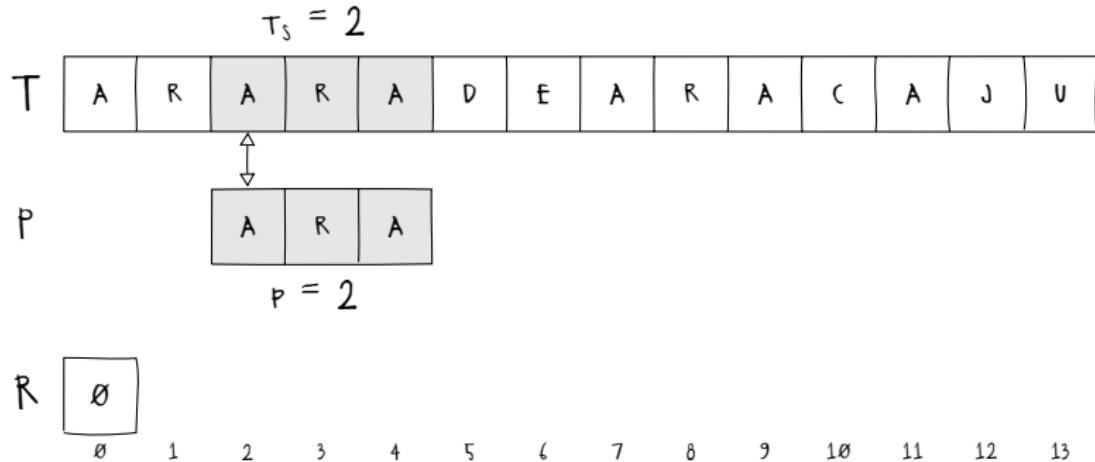
T  A | R | A | R | A | D | E | A | R | A | C | A | J | U

P  A | R | A
 $p = 2$

R  \emptyset
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

Busca em cadeias

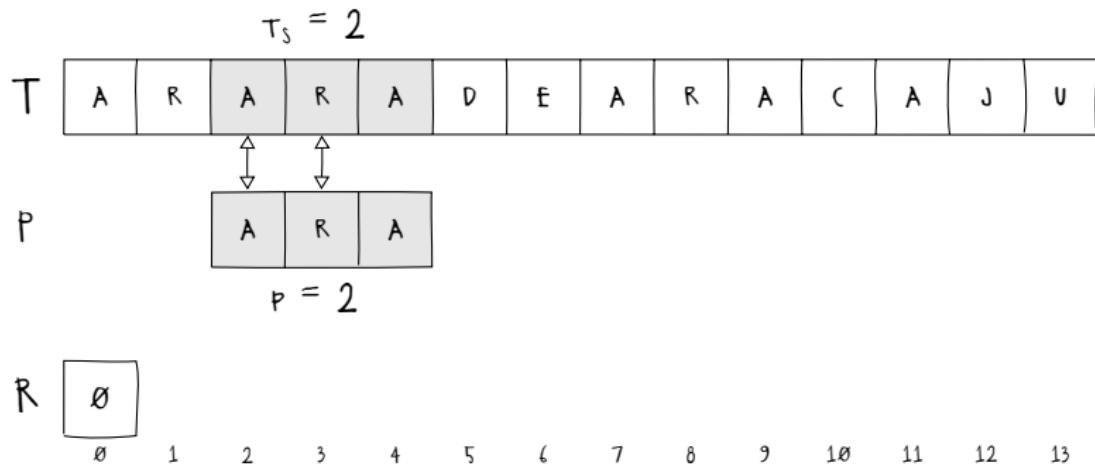
- ▶ Rabin-Karp
 - ▶ Cada subcadeia de T de tamanho m tem seu valor numérico t_s calculado e comparado com o valor de p , considerando $b = 26, q = 5$ e $p = 442 \bmod 5 = 2$



Busca em cadeias

► Rabin-Karp

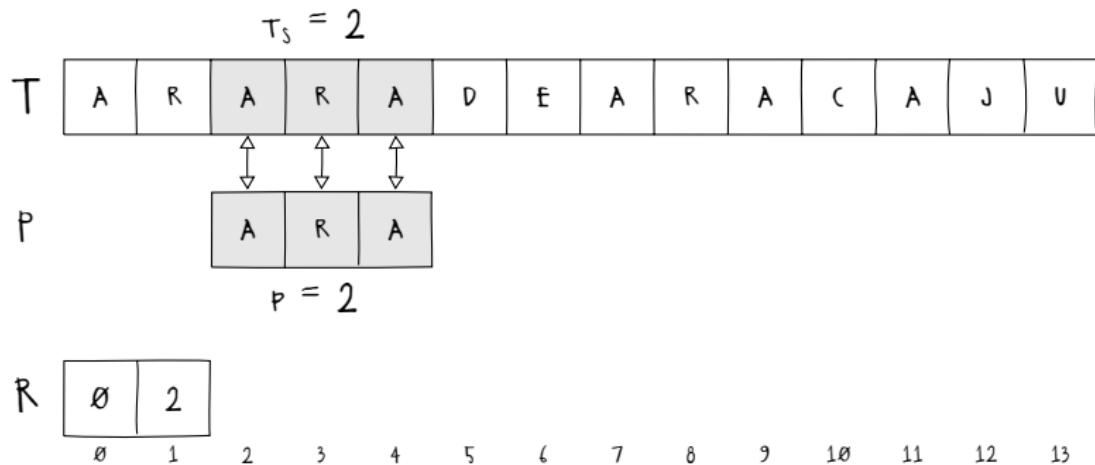
- Cada subcadeia de T de tamanho m tem seu valor numérico t_s calculado e comparado com o valor de p , considerando $b = 26, q = 5$ e $p = 442 \bmod 5 = 2$



Busca em cadeias

► Rabin-Karp

- Cada subcadeia de T de tamanho m tem seu valor numérico t_s calculado e comparado com o valor de p , considerando $b = 26, q = 5$ e $p = 442 \bmod 5 = 2$



Busca em cadeias

► Rabin-Karp

- Cada subcadeia de T de tamanho m tem seu valor numérico t_s calculado e comparado com o valor de p , considerando $b = 26$, $q = 5$ e $p = 442 \bmod 5 = 2$

$$T_S = \emptyset$$

T

A	R	A	R	A	D	E	A	R	A	C	A	J	U
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

P

A	R	A
---	---	---

 $p = 2$

R

\emptyset	2
-------------	---

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

Busca em cadeias

► Rabin-Karp

- Cada subcadeia de T de tamanho m tem seu valor numérico t_s calculado e comparado com o valor de p , considerando $b = 26, q = 5$ e $p = 442 \bmod 5 = 2$

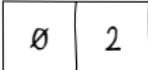
$$t_s = 2$$

T 

P



$$p = 2$$

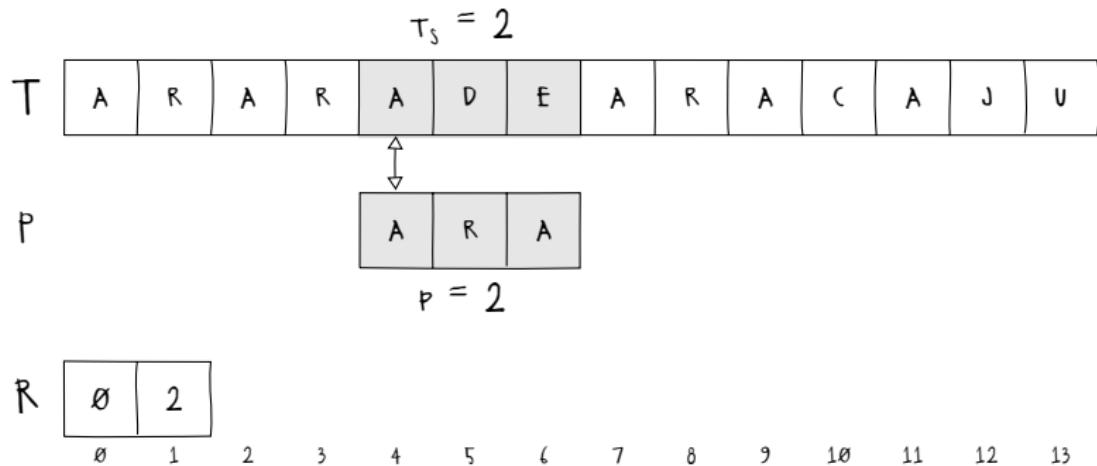
R 

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

Busca em cadeias

► Rabin-Karp

- Cada subcadeia de T de tamanho m tem seu valor numérico t_s calculado e comparado com o valor de p , considerando $b = 26, q = 5$ e $p = 442 \bmod 5 = 2$



Busca em cadeias

► Rabin-Karp

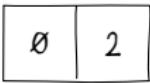
- Cada subcadeia de T de tamanho m tem seu valor numérico t_s calculado e comparado com o valor de p , considerando $b = 26, q = 5$ e $p = 442 \bmod 5 = 2$

$$t_s = 2$$

T 

P 

$$p = 2$$

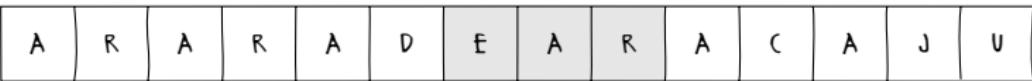
R 
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

Busca em cadeias

► Rabin-Karp

- Cada subcadeia de T de tamanho m tem seu valor numérico t_s calculado e comparado com o valor de p , considerando $b = 26$, $q = 5$ e $p = 442 \bmod 5 = 2$

$$t_s = 1$$

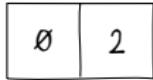
T 

P



$$p = 2$$

R



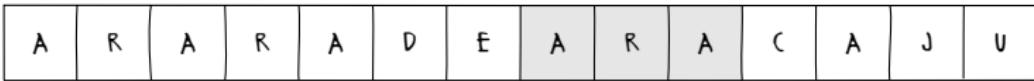
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

Busca em cadeias

► Rabin-Karp

- Cada subcadeia de T de tamanho m tem seu valor numérico t_s calculado e comparado com o valor de p , considerando $b = 26$, $q = 5$ e $p = 442 \bmod 5 = 2$

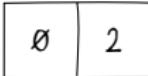
$$t_s = 2$$

T 

P



$$p = 2$$

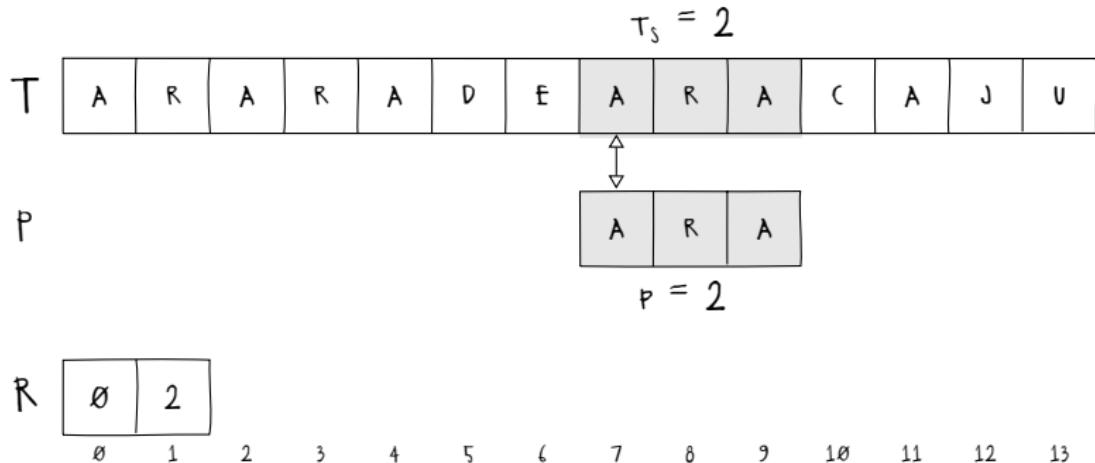
R 

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

Busca em cadeias

► Rabin-Karp

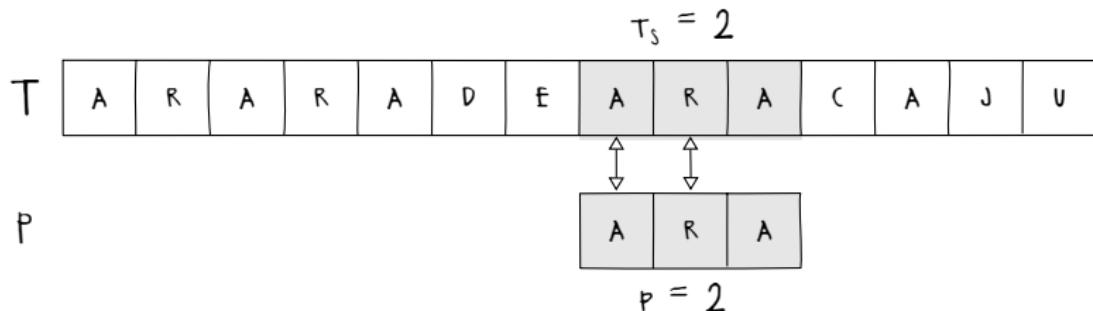
- Cada subcadeia de T de tamanho m tem seu valor numérico t_s calculado e comparado com o valor de p , considerando $b = 26$, $q = 5$ e $p = 442 \bmod 5 = 2$



Busca em cadeias

► Rabin-Karp

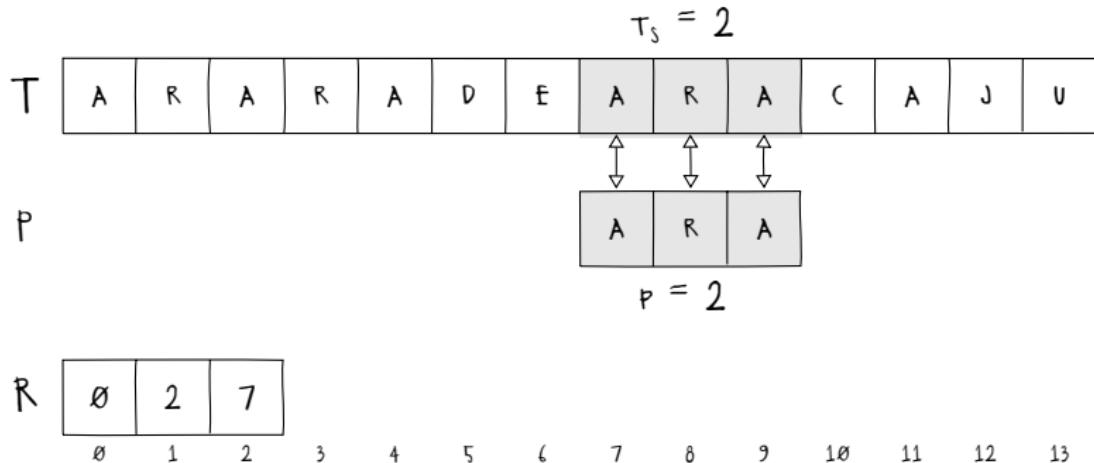
- Cada subcadeia de T de tamanho m tem seu valor numérico t_s calculado e comparado com o valor de p , considerando $b = 26$, $q = 5$ e $p = 442 \bmod 5 = 2$



Busca em cadeias

► Rabin-Karp

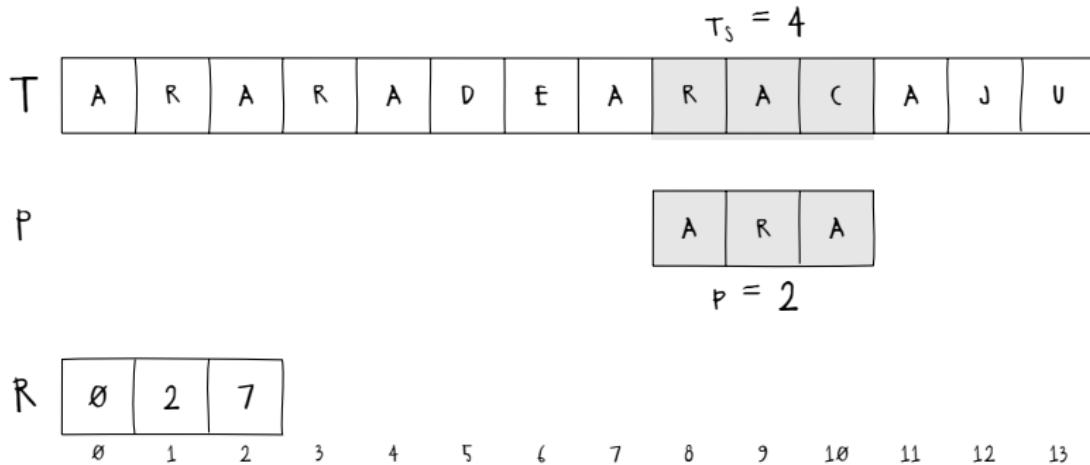
- Cada subcadeia de T de tamanho m tem seu valor numérico t_s calculado e comparado com o valor de p , considerando $b = 26$, $q = 5$ e $p = 442 \bmod 5 = 2$



Busca em cadeias

► Rabin-Karp

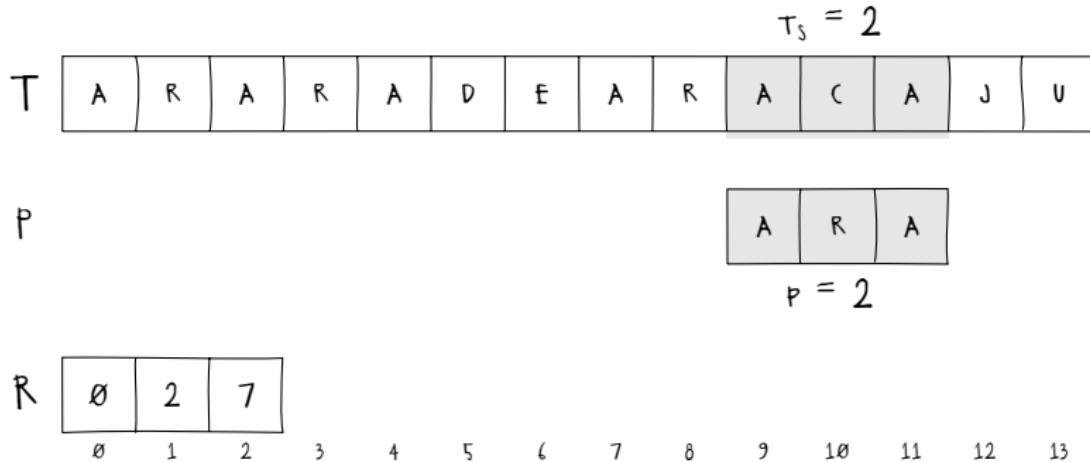
- Cada subcadeia de T de tamanho m tem seu valor numérico t_s calculado e comparado com o valor de p , considerando $b = 26, q = 5$ e $p = 442 \bmod 5 = 2$



Busca em cadeias

► Rabin-Karp

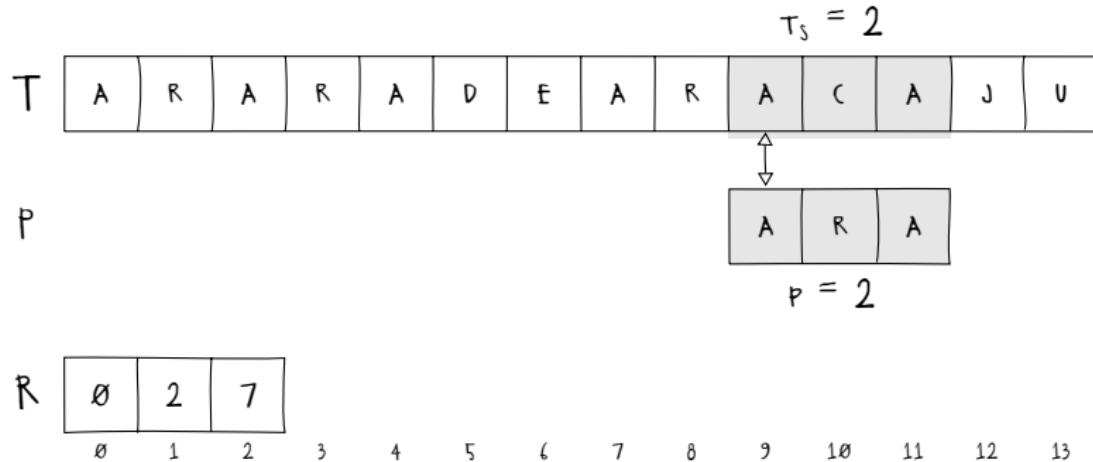
- Cada subcadeia de T de tamanho m tem seu valor numérico t_s calculado e comparado com o valor de p , considerando $b = 26, q = 5$ e $p = 442 \bmod 5 = 2$



Busca em cadeias

► Rabin-Karp

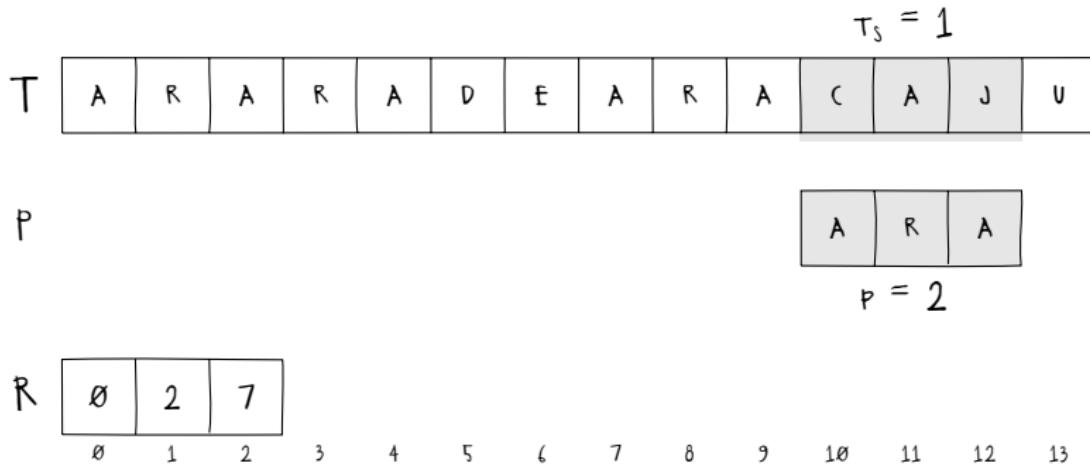
- Cada subcadeia de T de tamanho m tem seu valor numérico t_s calculado e comparado com o valor de p , considerando $b = 26, q = 5$ e $p = 442 \bmod 5 = 2$



Busca em cadeias

► Rabin-Karp

- Cada subcadeia de T de tamanho m tem seu valor numérico t_s calculado e comparado com o valor de p , considerando $b = 26, q = 5$ e $p = 442 \bmod 5 = 2$



Busca em cadeias

► Rabin-Karp

- Cada subcadeia de T de tamanho m tem seu valor numérico t_s calculado e comparado com o valor de p , considerando $b = 26, q = 5$ e $p = 442 \bmod 5 = 2$

$t_s = 4$

T	A	R	A	R	A	D	E	A	R	A	C	A	J	U
P	A	R	A											

$p = 2$

R	\emptyset	2	7	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
---	-------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----

Busca em cadeias

- ▶ Rabin-Karp
 - ▶ Análise de complexidade
 - ▶ Espaço $O(n + m)$
 - ▶ Tempo $\Theta(m) + \Omega(n - m + 1)$ e $\Theta(m) + O((n - m + 1) \times m)$

Exemplo

- ▶ Aplique os algoritmos de busca em cadeias para encontrar o padrão 111000 na sequência binária
10111000110111100010101100011100001101101111
 - ▶ Execute passo a passo a busca na cadeia
 - ▶ Faça uma análise comparativa dos algoritmos, destacando seus princípios de funcionamento, além de suas respectivas vantagens e desvantagens