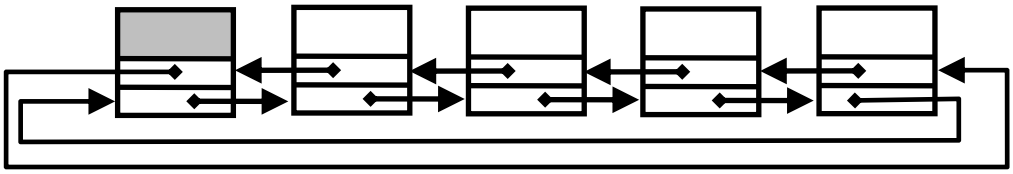
Capítulo 7



Generalização de Listas Encadeadas

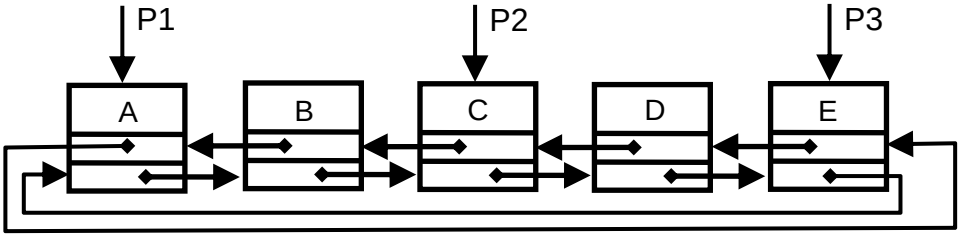
Seus Objetivos neste Capítulo

- Estudar técnicas complementares para a implementação de Listas Encadeadas: Encadeamento Duplo, Nó Header, e Primitivas de Baixo Nível;
- Ganhar experiência na elaboração de algoritmos sobre Listas Encadeadas, implementando Pilhas, Filas, Listas Cadastrais e Filas de Prioridades utilizando combinações das técnicas complementares estudadas;
- Conhecer conceitos relativos a generalização de Listas Encadeadas: Listas Multilineares, Listas de Listas, e Listas Genéricas Quanto ao Tipo do Elemento;
- Entender que é possível conceber sua própria estrutura encadeada, para atender a necessidades específicas de determinada aplicação.

7.1 Listas Duplamente Encadeadas

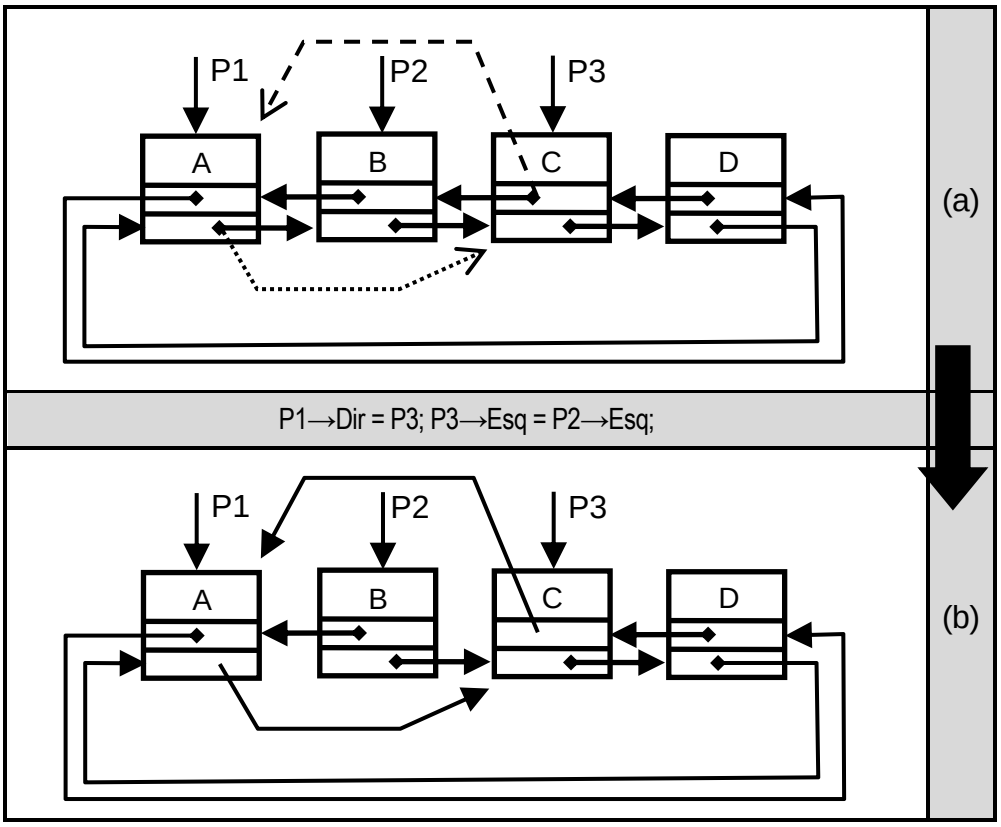
Em cada Nó das estruturas encadeadas que implementamos até o momento temos um campo para armazenar a informação - que chamamos de Info - e um campo para indicar o próximo elemento - que chamamos de Next. Nestas implementações podemos percorrer a lista em um único sentido: partindo do primeiro elemento, avançamos ao próximo, depois ao próximo do próximo, e assim por diante.

Em uma Lista Duplamente Encadeada, além do campo para armazenar informação, cada Nó possui dois outros campos: um destes campos indica o próximo elemento da lista; o outro indica o elemento anterior. Para evitar uma interpretação incerta, vamos chamar estes campos de Dir e Esq, para indicar, respectivamente, o elemento a direita e o elemento a esquerda de um Nó. No Quadro 7.1, o campo Dir do nó apontado por P2 está apontando para o Nó que contém o valor 'D'; o campo Esq do Nó apontado por P2 está apontando para o Nó que armazena o valor 'B'.



Quadro 7.1 Lista Circular Duplamente Encadeada

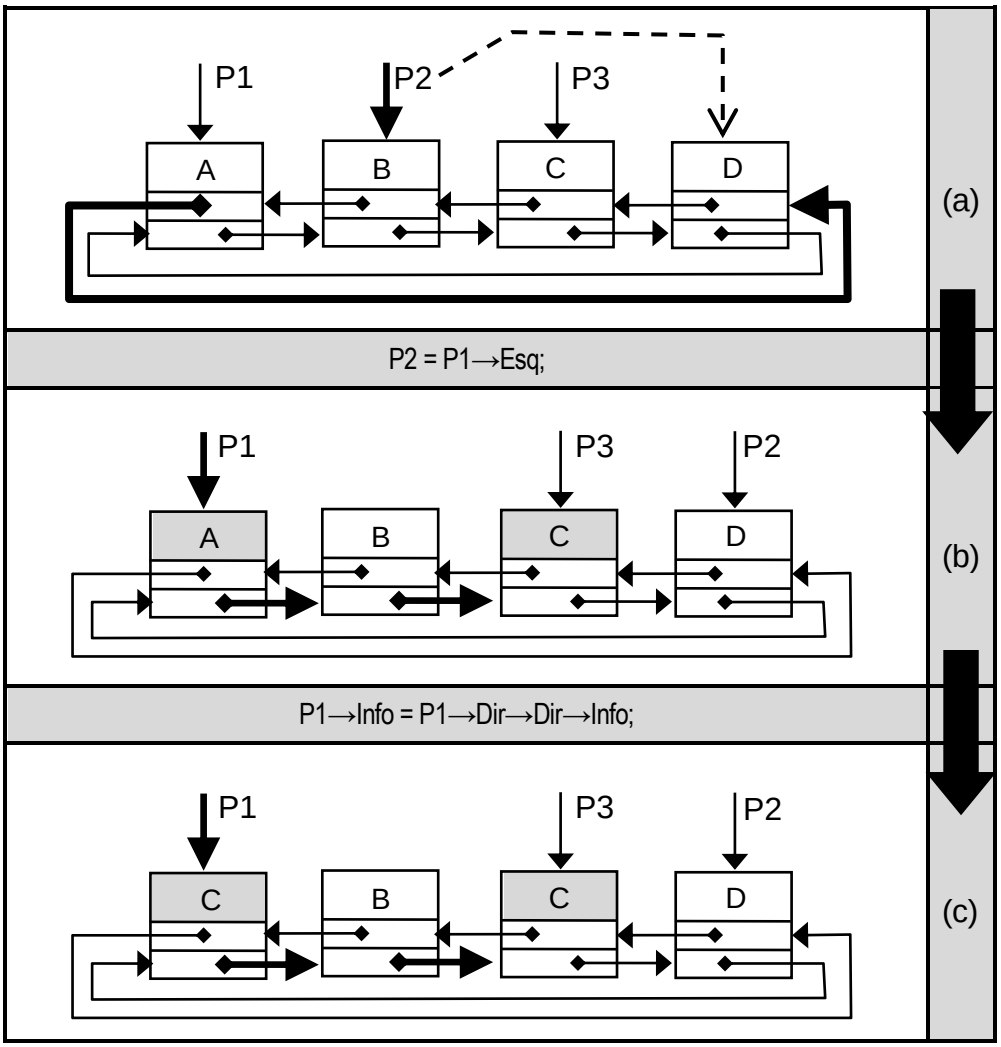
Partindo da situação ilustrada pelo Quadro 7.2a, se aplicarmos o comando P1→Dir = P3, o campo Dir do Nó apontado por P1 passará a apontar para o Nó apontado por P3, conforme sugere a seta pontilhada. Se em seguida executarmos o comando P3→Esq = P2→Esq, o campo Esq do Nó apontado por P3 passará a apontar para onde aponta o campo Esq do Nó apontado por P2 - o Nó que contém o valor 'A' (seta tracejada).



Quadro 7.2 Campos Dir e Esq: Direita e Esquerda

Como estamos manipulando uma Lista Circular, note no Quadro 7.3a que o campo Esq do Nó apontado por P1 aponta para o Nó que contém o valor 'D'. Se à situação do Quadro 7.3a aplicarmos o comando P2 = P1→Esq, P2 passará a apontar para o Nó que contém o valor 'D' (Quadro 7.3b).

O comando aninhado P1→Info = P1→Dir→Dir→Info pode ser lido: "Info de P1 recebe Info do Dir do Dir de P1". Ou seja, o campo Info do nó apontado por P1 recebe o valor do campo Info do nó apontado por P1→Dir→Dir. P1→Dir aponta para o nó que armazena o valor B. P1→Dir→Dir aponta para o nó que armazena o valor C. Assim, se aplicarmos o comando aninhado P1→Info = P1→Dir→Dir→Info à situação do Quadro 7.3b, o campo Info do nó apontado por P1 receberá o valor C, como mostra o Quadro 7.3c.

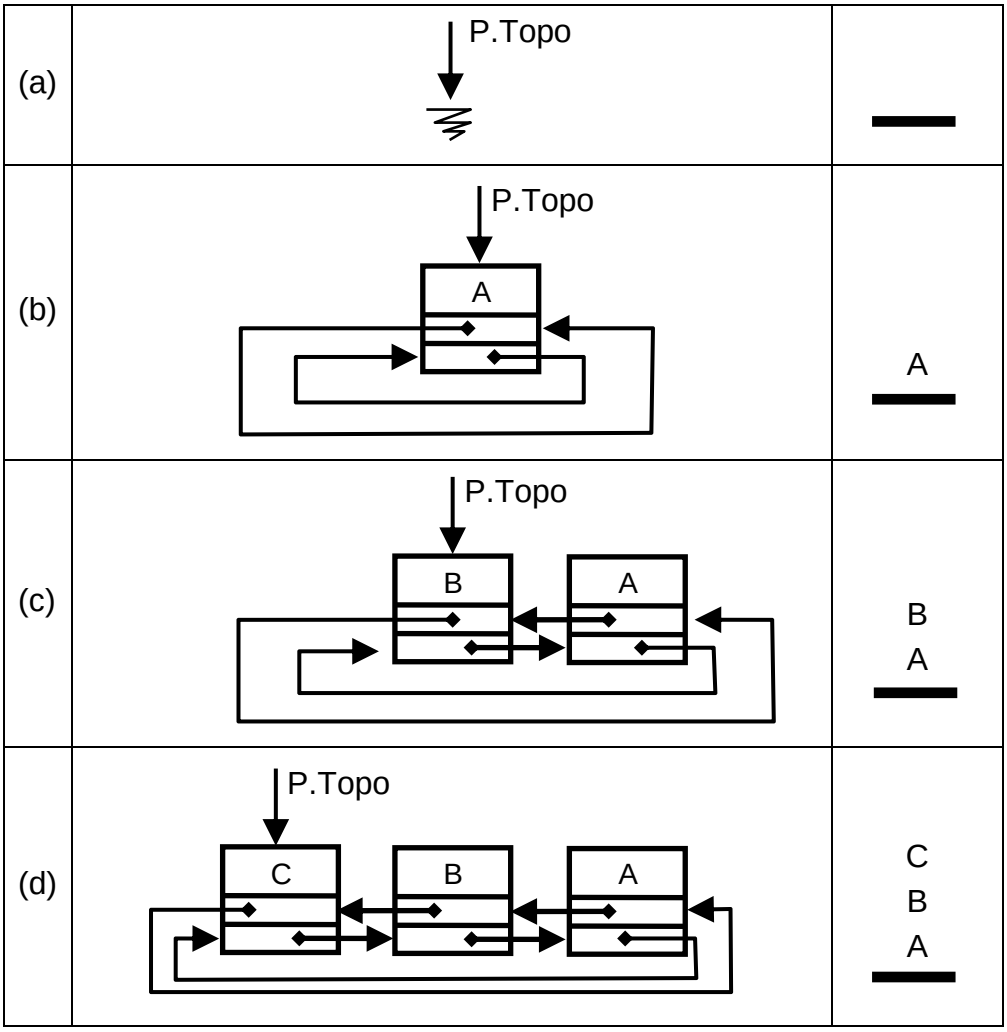


Quadro 7.3 Exemplificando a Manipulação de uma Lista Duplamente Encadeada

Implementando uma Pilha com Encadeamento Duplo

O Quadro 7.4 mostra uma Pilha P implementada através de uma Lista Circular Duplamente Encadeada. O Quadro 7.4a mostra a situação de Pilha vazia. Se nesta Pilha vazia empilharmos o elemento 'A', teremos a situação do Quadro 7.4b. Se empilharmos

mais um elemento - o elemento de valor 'B', chegaremos à situação do Quadro 7.4c, na qual a Pilha possui dois elementos, sendo que o elemento 'B' está no Topo. Se a partir da situação do Quadro 7.4c empilharmos mais um elemento, agora de valor 'C', chegaremos a uma Pilha com três elemento, com o elemento 'C' no Topo, conforme mostra o Quadro 7.4d.



Quadro 7.4 Pilha Implementada como uma Lista Circular Duplamente Encadeada

Queremos agora implementar as Operações Primitivas de uma Pilha - Empilha, Desempilha, Cria, Vazia e Cheia, detalhadas no Quadro 2.6. Implementaremos a Pilha como uma Lista Circular Duplamente Encadeada, conforme os diagramas do Quadro 7.4, mas as operações precisam produzir exatamente o mesmo efeito que produzem aquelas que implementamos no Capítulo 2, com Alocação Sequencial, e no Capítulo 4, com uma Lista Encadeada que não era circular, e não possuía encadeamento duplo.

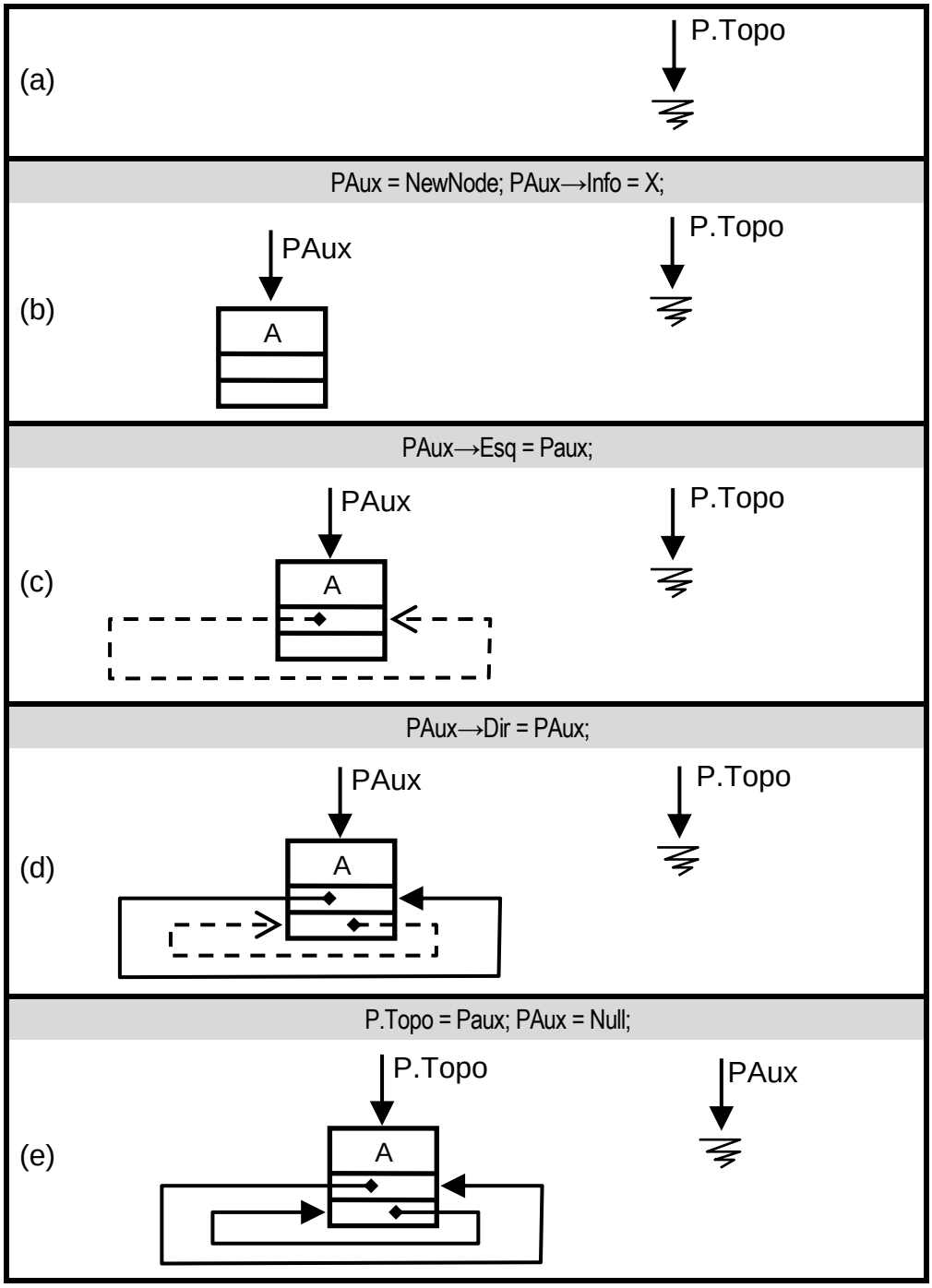
Exercício 7.1 Empilha - Lista Circular Duplamente Encadeada

A operação Empilha recebe como parâmetros a Pilha na qual queremos empilhar um elemento, e o valor do elemento que queremos empilhar.

Empilha (parâmetro por referência P do tipo Pilha, parâmetro X do tipo Char, parâmetro por referência DeuCerto do tipo Boolean);

/* Empilha o elemento X na Pilha P. O parâmetro DeuCerto deve indicar se a operação foi bem sucedida ou não */

A principio, vamos tratar diferenciadamente dois casos: Caso 1 - Pilha Vazia (ilustrada no Quadro 7.4a); e Caso 2 - Pilha não vazia (Quadro 7.4b, 7.4c e 7.4d). O Quadro 7.5 ilustra passo a passo o funcionamento da operação Empilha, para a situação inicial de uma Pilha vazia.



Quadro 7.5 Empilha Elemento em uma Pilha Vazia

Com uma variável auxiliar chamada PAux, alocamos um Nó através do comando conceitual PAux = NewNode. Em seguida armazenamos no Nó apontado por PAux a informação que queremos empilhar. Fazemos isso através do comando PAux→Info = X. Com esses dois comandos, a situação do Quadro 7.5a passa para a situação ilustrada no Quadro 7.5b.

A partir da situação do Quadro 7.5b, executamos o comando PAux→Esq = Paux. Através deste comando, o campo Esq do Nó apontado por PAux passa a apontar para o próprio PAux. A seta pontilhada no Quadro 7.5c destaca o efeito da execução de PAux→Esq = Paux. Em seguida executamos o comando PAux→Dir = PAux. Através deste comando, o campo Dir do Nó apontado por PAux passa a apontar para o próprio PAux, conforme ilustra a seta pontilhada do Quadro 7.5d.

Através do comando P.Topo = PAUx, o ponteiro P.Topo passa a apontar para onde aponta PAUx; ou seja, para o Nó que acabou de ser alocado. Movemos PAux para Null, haja visto que PAux é uma variável temporária. Ao final da execução desta sequencia de comandos, a Pilha que estava vazia passou a ter um elemento (Quadro 7.5e).

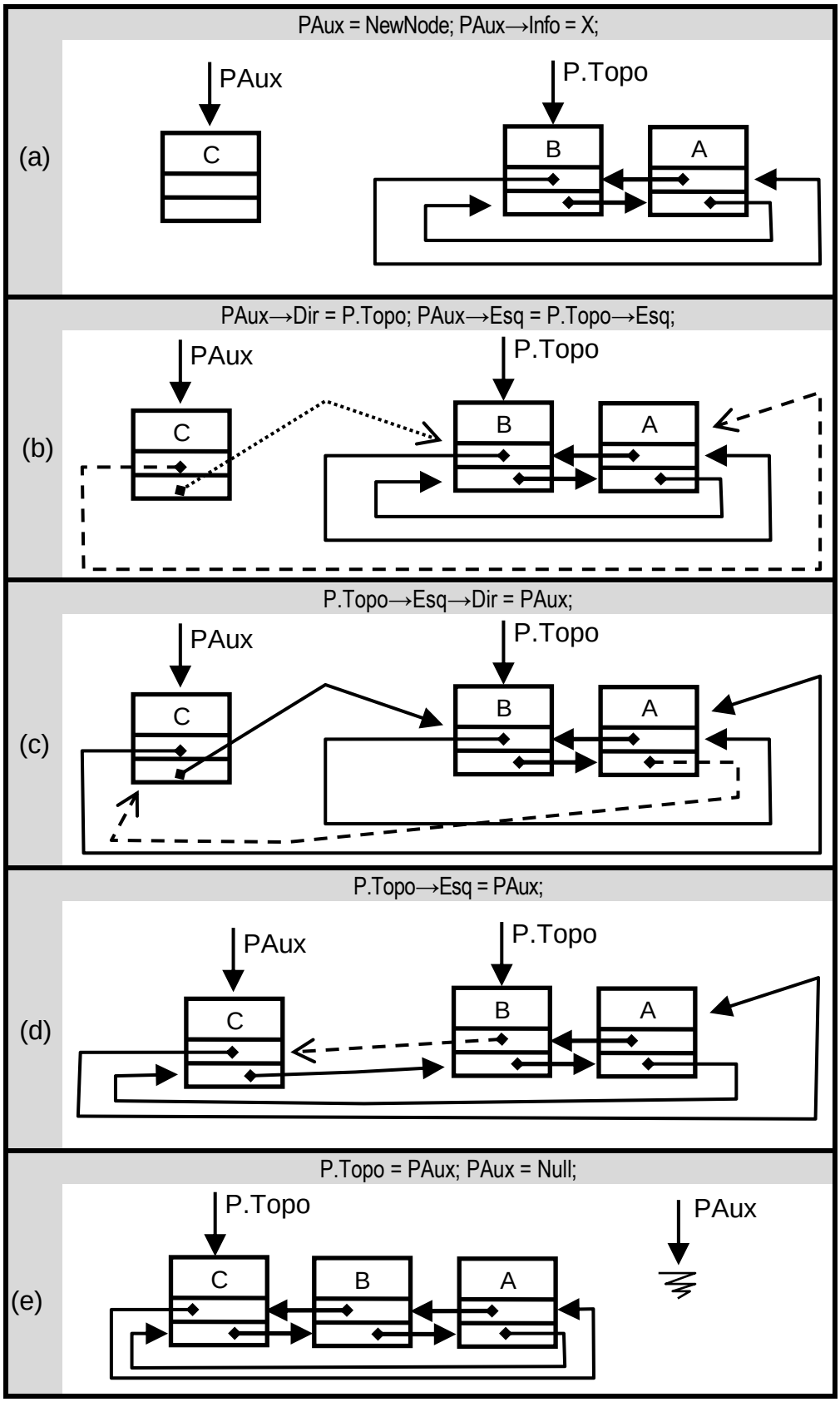
O Quadro 7.6 ilustra passo a passo o funcionamento da operação Empilha, para a situação inicial de uma Pilha com dois elementos. A situação do Quadro 7.6a mostra a Pilha com dois elementos, sendo que o elemento B está no Topo. O Quadro 7.6a também já mostra o resultado da execução dos comandos PAux = NewNode e PAux→Info = X. Um novo Nó já está alocado, e o campo Info deste novo Nó já armazena a informação que queremos empilhar.

A partir da situação do Quadro 7.6a, executamos o comando PAux→Dir = P.Topo. Através deste comando, o campo Dir do Nó apontado por PAux passa a apontar para onde aponta P.Topo - ou seja, para o Nó que contém o valor 'B' (seta pontilhada do Quadro 7.6b). Analogamente, com o comando PAux→Esq = P.Topo→Esq, o campo Esq do Nó apontado por PAux passa a apontar para onde aponta o campo Esq do Nó apontado por P.Topo - ou seja, passa a apontar para o Nó que contém o valor 'A' (seta tracejada do Quadro 7.6b).

Em seguida executamos o comando P.Topo→Esq→Dir = PAux, que produz o efeito indicado pela seta tracejada do Quadro 7.6c. Note que P.Topo→Esq aponta para o Nó que contém o valor 'A'. Portanto, com o comando aninhado P.Topo→Esq→Dir = PAux estamos apontando o campo Dir do Nó que contém o valor 'A' para PAux.

Caso você tiver alguma dificuldade para visualizar a execução do comando aninhado P.Topo→Esq→Dir = PAux, é possível dividir a execução desse comando em dois passos. Primeiramente coloque um novo ponteiro auxiliar apontando para o Nó que contém o valor 'A', através do comando NovoPonteiroAuxiliar = P.Topo→Esq. Em seguida você poderá executar NovoPonteiroAuxiliar→Dir = PAux. O resultado da

execução destes dois comandos será o mesmo da execução do comando aninhado P.Topo→Esq→Dir = PAux, destacado pela seta tracejada do Quadro 7.6c.



Quadro 7.6 Empilha Elemento em uma Pilha Não Vazia

Em seguida, a partir da situação do Quadro 7.6c, executamos o comando P.Topo→Esq = PAux. Através deste comando, o campo Esq do Nó apontado por P.Topo passa a apontar para PAux. A seta tracejada do Quadro 7.6d destaca o efeito da execução de P.Topo→Esq = PAux.

Através do comando P.Topo = PAUx, o ponteiro P.Topo passa a apontar para onde aponta PAux; ou seja, para o Nó que acabou de ser alocado. Movemos PAux para Null, haja visto que PAux é uma variável temporária. Ao final da execução desta sequencia de comandos, a Pilha que continha dois elementos, passou a ter três elementos. O elemento que acabou de ser inserido - o elemento 'C' - está no Topo da Pilha, conforme mostra o Quadro 7.6e.

O Quadro 7.7 apresenta um algoritmo conceitual para a operação Empilha, para uma Pilha implementada como uma Lista Circular Duplamente Encadeada. Se a Pilha estiver vazia, executamos a sequencia de comandos cuja execução foi ilustrada no Quadro 7.5. Caso a Pilha não estiver vazia, é executada a sequencia de comandos ilustrada no Quadro 7.6.

```
Empilha (parâmetro por referência P do tipo Pilha, parâmetro X do tipo Char, parâmetro
por referência DeuCerto do tipo Boolean) {

/* Empilha o elemento X, passado como parâmetro, na Pilha P também passada como
parâmetro. O parâmetro DeuCerto deve indicar se a operação foi bem sucedida ou não */

Variável PAux do tipo NodePtr;

Se (Cheia(P)==Verdadeiro)   // se a Pilha P estiver cheia... não podemos empilhar
Então    DeuCerto = Falso;
Senão { DeuCerto = Verdadeiro;
        Se (Vazia(P)==Verdadeiro)
        Então {  /* trata o Caso 1 - Insere em uma Pilha Vazia */
                 PAux = NewNode;
                 PAux→Info = X;
                 PAux→Dir = Paux;
                 PAux→Esq = PAux;
                 P.Topo = PAux;
                 PAux = Null; }

        Senão { /* trata o Caso 2 - Insere em uma Pilha Não Vazia */
                 PAux = NewNode;
                 PAux→Info = X;
                 PAux→Dir = P.Topo;
                 PAux→Esq = P.Topo→Esq;
                 P.Topo→Esq→Dir = PAux;
                 P.Topo→Esq = PAux;
                 P.Topo = PAux;
                 PAux = Null; }
        } // senão
} fim Empilha
```

Quadro 7.7 Algoritmo Conceitual - Empilha

Exercício 7.2 Executar Empilha em Novas Situações

Os Quadros 7.5 e 7.6 mostraram a execução passo a passo da operação Empilha, tendo como situação inicial a Pilha P vazia, e a Pilha P com dois elementos, respectivamente. Execute passo a passo o algoritmo Empilha do Quadro 7.7, em pelo menos duas novas situações iniciais. Por exemplo, na situação inicial de uma Pilha com um único elemento, e na situação inicial de uma Pilha com quatro elementos. Desenhe passo a passo a execução do algoritmo.

Exercício 7.3 TAD Pilha - Operações Desempilha, Cria e Vazia

Implemente as demais Operações Primitivas de uma Pilha, especificadas no Quadro 2.6: Desempilha, Cria, Vazia e Cheia. A Pilha deve ser implementada como uma Lista Circular Duplamente Encadeada, conforme os diagramas dos Quadros 7.4, 7.5 e 7.6.

Exercício 7.4 TAD Fila Implementada como Lista Circular Duplamente Encadeada

Assim como fizemos para implementar uma Pilha, implemente agora uma Fila, através de uma Lista Circular Duplamente Encadeada. Primeiramente faça diagramas para uma Fila Vazia, para uma Fila com um único elemento, e para uma Fila com vários elementos. A seguir implemente as Operações Primitivas de uma Fila, conforme especificado no Quadro 3.4. Ao desenvolver os algoritmos, siga os passos sugeridos no Quadro 6.25: identifique e desenhe cada caso, trate cada caso separadamente, etc.

Exercício 7.5 TAD Lista Cadastral Implementada como Lista Circular Duplamente Encadeada, Não Ordenada

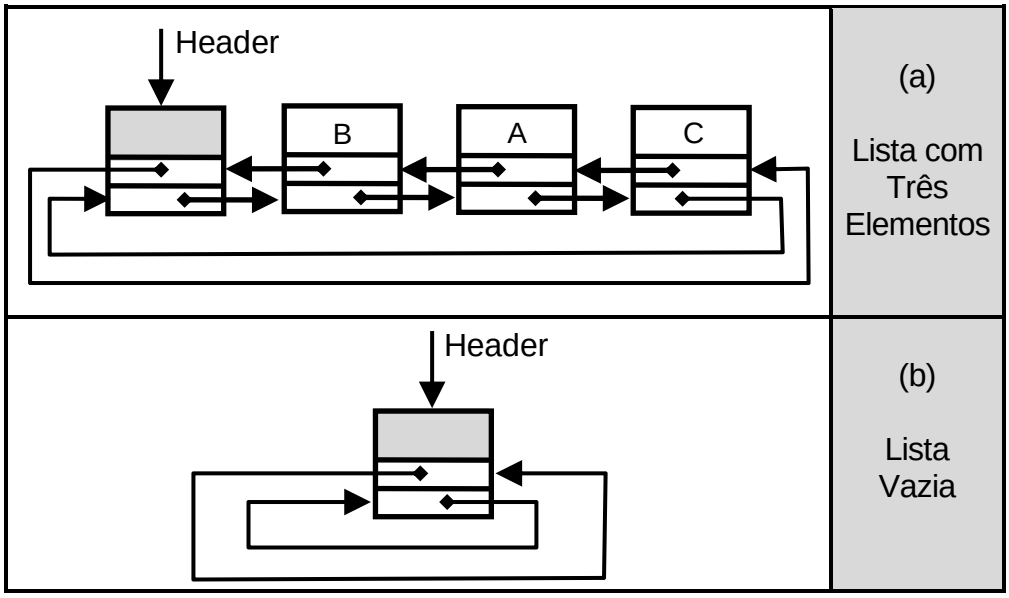
Implemente uma Lista Cadastral através de uma Lista Circular Duplamente Encadeada, Não Ordenada. Faça diagramas para uma Lista vazia, para uma Lista com um único elemento, e para uma Lista com vários elementos. A seguir implemente as Operações Primitivas de uma Lista Cadastral, conforme especificado no Quadro 6.4. Ao desenvolver os algoritmos, siga os passos sugeridos no Quadro 6.25: identifique e desenhe cada caso, trate cada caso separadamente, etc.

7.2 Listas Com Nó Header

Um "*Nó Header*" - ou "*Nó Cabeça*" - é um Nó que não é utilizado para armazenar elementos; é utilizado apenas como estrutura de suporte, para marcar o início de uma Lista Encadeada. O Quadro 7.8 mostra a representação de uma Lista Circular Duplamente Encadeada, com quatro Nós. Três destes Nós estão armazenando os elementos B, A e C. O quarto Nó é o Nó Header, que não armazena nenhum elemento, e apenas marca o inicio da Lista.

Note no Quadro 7.8b que em uma implementação com Header, a Lista vazia não é mais composta por um ponteiro

apontando para Null. A Lista vazia é composta por um ponteiro apontando para o Nó Header.



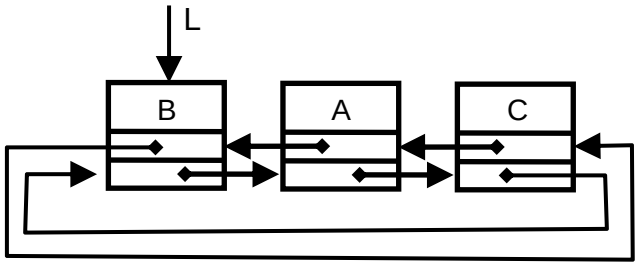
Quadro 7.8 Lista Circular com Nó Header

Quando utilizamos o Null para identificar a situação de Lista vazia, os algoritmos precisam tratar separadamente os casos de inserir um elemento em uma Lista vazia, e de retirar o único elemento de uma Lista, deixando-a vazia. Quando utilizamos um Nó Header, as operações para inserir ou retirar o único elemento de uma Lista não precisam ser tratadas como exceções, e os algoritmos tendem a ser mais simples.

O Nó Header também pode ser utilizado para auxiliar na busca de um elemento na Lista. Por exemplo, para encontrar um elemento X em uma Lista Circular, Não Ordenada, Duplamente Encadeada, com três elementos conforme ilustrado no Quadro 7.9a, precisamos de um comando de repetição com duas condições: a primeira condição P→Info !=X interrompe a repetição quando achamos o elemento X; a segunda condição (P!=L) interrompe a busca quando já tivermos percorrido toda a Lista, ou seja, quando já tivermos "dado uma volta" na Lista Circular. Esta segunda condição é necessária para evitar que o algoritmo entre em situação de *loop infinito*, no caso de X não estar na Lista.

Quando temos uma implementação com Header, antes de iniciar a busca podemos atribuir o valor de X ao campo Info do Nó Header. Então podemos suprimir a segunda condição de parada, (P!=L), pois se X não for encontrado em um dos Nós da Lista que armazenam elementos, será encontrado no Nó Header, interrompendo o comando de repetição.

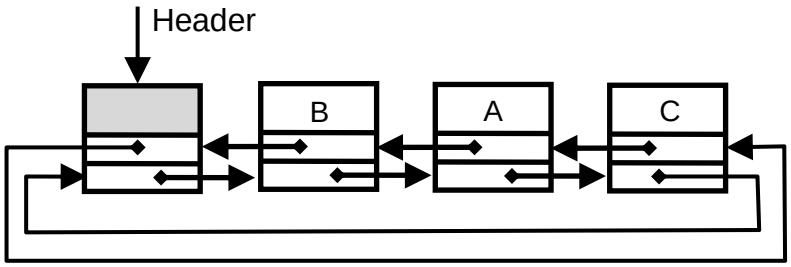
No exemplo do Quadro 7,9b, a Lista contém os elementos 'A', 'B' e 'C'. Se procurarmos um elemento de valor 'D', que não está na Lista, antes de iniciar o comando de repetição o algoritmo irá atribuir o valor 'D' ao campo Info do Nó Header. Logo, a repetição será interrompida quando esse valor 'D' for localizado no Header.




```
Se (L == Null)        // Lista Vazia
Então AchouX = Falso;
Senão { P = L→Dir // P é um ponteiro auxiliar que percorre a Lista

        /* note as duas condições de parada no comando de repetição: enquanto (não
           achou X) E (não deu a volta na Lista), continua avançando P */
        Enquanto (( P→Info != X )  E ( P != L ))
              P = P→Dir;
        Se (P→Dir == X)
        Então AchouX = Verdadeiro;
        Senão AchouX = Falso;
       } // senão
```

(a) Busca em uma Lista Sem Header




```
P = Header→Dir;        // P é um ponteiro auxiliar que percorre a Lista
Header→Info = X;       // atribuição de X ao Nó Header, apenas para auxiliar na busca

/* podemos suprimir a segunda condição de parada do comando de interrupção, (P != L),
pois se X não estiver na lista, a repetição será interrompida quando acharmos o X
atribuído ao Header no início da operação */
Enquanto (P→Info != X)
        P = P→Dir;

/* se o X que achamos está no Header, na verdade X não está armazenado na lista. Se
encontramos um X em um Nó que não seja o Header, aí sim podemos concluir que X
está na Lista */
Se  (P != Header)
Então AchouX = Verdadeiro;      // achamos um X armazenado na Lista
Senão AchouX = Falso;
```

(b) Busca em uma Lista Com Header

Quadro 7.9 Comparando a Busca com o Nó Header com a Busca Sem o Nó Header

Se estivéssemos procurando o valor 'A', que está armazenado na Lista, antes de iniciar o comando de repetição o algoritmo iria atribuir o valor 'A' ao campo Info do Nó Header. Mas como vamos verificar todos os demais Nós da Lista antes de verificar o Nó Header, o comando de repetição será interrompido quando encontrarmos o valor 'A' que não está no Header. Um comando condicional no final do algoritmo (Se P != Header) diferencia a situação em que o comando de repetição foi interrompido ao chegar no Header, da situação em que a busca é interrompida ao encontrarmos uma informação que está realmente armazenada na Lista.

Exercício 7.6 TAD Lista Cadastral Implementada como Lista Circular Duplamente Encadeada, Não Ordenada, Sem Elementos Repetidos, e com Nó Header

Implemente uma Lista Cadastral através de uma Lista Circular Duplamente Encadeada, Não Ordenada, Sem Elementos Repetidos, e com Nó Header. Primeiramente desenhe uma Lista vazia, uma Lista com um único elemento, e uma Lista com vários elementos. A seguir implemente as Operações Primitivas de uma Lista Cadastral, conforme especificado no Quadro 6.4 (Cria, vazia, Cheia, Insere, Retira, EstáNaLista, PegaOPrimeiro e PegaOPróximo). Ao implementar a operação Cria, não se esqueça que a Lista vazia deve conter o Nó Header. Ao implementar a operação EstáNaLista e a operação Retira, utilize a otimização resultante de atribuir o valor de X ao campo Info do Nó Header, antes de iniciar a busca, conforme exemplificado no Quadro 7.9b. Ao desenvolver os algoritmos, siga os passos sugeridos no Quadro 6.25: identifique e desenhe cada caso, trate cada caso separadamente, etc.

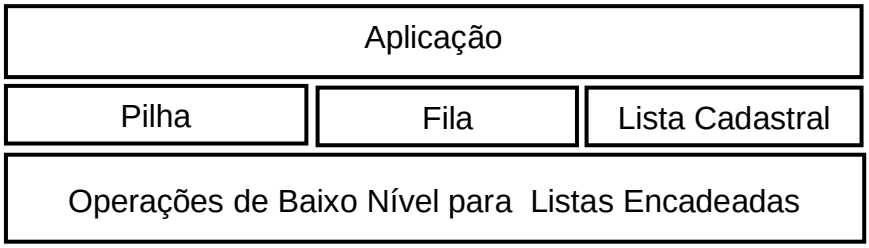
Exercício 7.7 TAD Fila com Nó Header

Implemente uma Fila, através de uma Lista Circular Duplamente Encadeada com Nó Header. Primeiramente faça diagramas para uma Fila Vazia, para uma Fila com um único elemento, e para uma Fila com vários elementos. A seguir implemente as Operações Primitivas de uma Fila, conforme especificado no Quadro 3.4. Ao desenvolver os algoritmos, siga os passos sugeridos no Quadro 6.25: identifique e desenhe cada caso, trate cada caso separadamente, etc.

7.3 Operações de Baixo Nível para Listas Encadeadas

Já implementamos Pilhas, Filas e Listas Cadastrais utilizando diversas variações das Listas Encadeadas: Listas Circulares, Listas Duplamente Encadeadas, Listas com Nó Header e combinações destas técnicas. Queremos agora definir e implementar operações de baixo nível, ou seja, operações mais básicas, para manipulação de Listas Encadeadas, que possibilitem uma implementação mais

ágil e mais abstrata de Pilhas, Filas, Listas Cadastrais, e outras estruturas de armazenamento, como ilustra o Quadro 7.10.



Quadro 7.10 Pilha, Fila e Lista Cadastral Implementadas Através de Operações de Baixo Nível para Listas Encadeadas

O Quadro 7.11 apresenta um conjunto de operações básicas, de baixo nível, para manipulação de Listas Encadeadas. A operação Remove_P remove da Lista Básica LB um Nó apontado pelo ponteiro P, passado como parâmetro. A operação InsereADireitaDeP insere um valor X na Lista Básica LB, posicionando o novo elemento imediatamente a direita do Nó apontado por P.

Operações	Funcionamento
Remove_P (LB, P, Ok)	Remove da Lista Básica LB o Nó apontado pelo ponteiro P passado como parâmetro. O parâmetro Ok retornará Verdadeiro se a operação deu certo ou Falso, caso contrário.
InsereADireitaDeP (LB, P, X,Ok)	Insere o elemento X na Lista Básica LB, na posição imediatamente a direita do Nó apontado por P. O parâmetro Ok retornará Verdadeiro se a operação deu certo ou Falso, caso contrário.
EstáNaLista (LB, X, P)	Se o elemento X fizer parte da Lista Básica LB, retorna Verdadeiro. Neste caso o ponteiro P retornará o endereço do Nó que contém X. Se X não for encontrado na Lista, retorna Falso.
Char Info_de_P (LB, P, Ok)	Retorna o valor do campo Info do Nó apontado por P. O parâmetro Ok retornará Verdadeiro se a operação deu certo ou Falso, caso contrário.
Vazia (LB)	Funcionamento tradicional - Quadro 6.4.
Cheia(LB)	Funcionamento tradicional - Quadro 6.4.
Cria (LB)	Funcionamento tradicional - Quadro 6.4.
PegaOPrimeiro(LB, X, TemElemento)	Funcionamento tradicional - Quadro 6.4.
PegaOPróximo(LB, X, TemElemento)	Funcionamento tradicional - Quadro 6.4.

Quadro 7.11 Operações de Baixo Nível para Listas Encadeadas

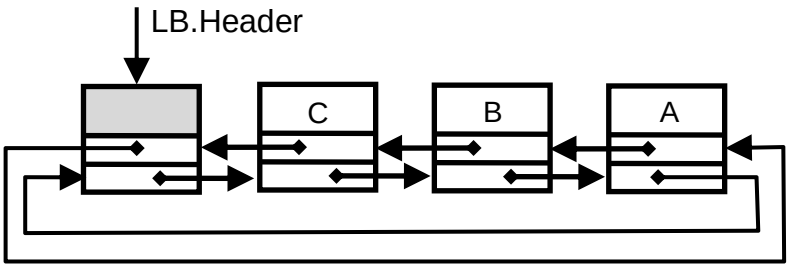
A operação EstáNaLista verifica se X está na Lista Básica LB. Se X estiver em LB, o parâmetro P estará apontando para o Nó que contém X. A operação Info_de_P retorna a informação

armazenada no Nó apontado por P, dado que P aponte para um Nó válido de LB. As demais operações - Cria, Vazia, Cheia, PegaOPrimeiro e PegaOPróximo têm os mesmos parâmetros e o mesmo funcionamento das operações de uma Lista Cadastral, conforme especificado no Quadro 6.4.

Exercício 7.8 Pilha Implementada a Partir das Operações de Baixo Nível para Manipulação de Listas Encadeadas

Implemente uma Pilha utilizando as Operações de Baixo Nível para Manipulação de Listas Encadeadas, especificadas no Quadro 7.11. Considere uma Lista Básica implementada como uma Lista Circular, Duplamente Encadeada e com Nó Header. Primeiramente escolha uma posição da Lista Genérica na qual ficará armazenado o topo da Pilha, e implemente as operações Empilha, Desempilha, Vazia, Cheia e Cria.

Considerando a implementação da Lista Básica como uma Lista Circular, Duplamente Encadeada e com Nó Header, para implementar uma Pilha, podemos convencionar, por exemplo, que o topo da Pilha ficará sempre a direita do Nó Header, apontado pelo ponteiro LB.Header. No exemplo do Quadro 7.12, a ordem de entrada dos elementos na Pilha foi 'A', depois 'B', e depois 'C'. Assim, o elemento 'C' está no topo. A Lista Básica LB possui ainda um segundo ponteiro - LB.Atual, utilizado nas operações de percorrer a Lista, que não está representado no Diagrama do Quadro 7.12.



Quadro 7.12 Pilha Implementada a Partir de Operações de Baixo Nível para Manipulação de Listas Encadeadas

O Quadro 7.13 apresenta algoritmos para as operações Empilha e Desempilha. Se quisermos empilhar mais um elemento, de valor 'D', na Pilha ilustrada no Quadro 7.12, este novo elemento deverá ser inserido à direita do Nó Header, e ficará posicionado entre o Nó de valor 'C' e o Nó Header, apontado pelo ponteiro LB.Header. Assim, para implementar a operação Empilha a partir das Operações de Baixo Nível para Manipulação de Listas Encadeadas, descritas no Quadro 7.11, utilizamos a operação e os parâmetros: InsereADireitaDeP (LB, LB.Header, X, DeuCerto). Conforme especificado no Quadro 7.11, o primeiro parâmetro é a Lista Básica, LB. O segundo parâmetro indica o Nó a direita do qual queremos inserir o novo Nó, com o valor X. Como queremos inserir o novo elemento da Pilha a direita do Nó Header, passamos como

segundo parâmetro o ponteiro LB.Header. O terceiro parâmetro, X, é o valor a ser inserido. DeuCerto retornará Verdadeiro ou Falso, indicando sucesso ou insucesso na operação.

Na operação Desempilha, atribuímos a X a informação do nó que está no topo da Pilha com o comando X = Info_de_P(LB, LB.Header→Dir, DeuCerto), e removemos o nó que contém o elemento do topo da Pilha, com o comando Remove_P (LB, LB.Header→Dir, DeuCerto). Em ambos os comandos, o segundo parâmetro LB.Header→Dir indica o elemento do topo da Pilha.

```
Empilha (parâmetro por referência LB do tipo ListaBásica, parâmetro X do tipo Char,
parâmetro por referência DeuCerto do tipo Boolean) {
/* Empilha o elemento X na Pilha implementada na Lista Básica LB */
InsereADireitaDeP(LB, LB.Header, X, DeuCerto);    /* insere X a direita do Nó apontado
pelo segundo parâmetro, ou seja, a direita de LB.Header. O parâmetro DeuCerto é
atualizado pela operação InsereADireitaDeP */
} // fim Empilha

Desempilha(parâmetro por referência LB do tipo ListaBásica, parâmetro por referência X
do tipo Char, parâmetro por referência DeuCerto do tipo Boolean) {
/* Retira o elemento do Topo, retornando seu valor no parâmetro X */
X = Info_de_P( LB, LB.Header→Dir, DeuCerto );
/* pega o valor do Nó apontado por LB.Header→Dir */
Remove_P ( LB, LB.Header→Dir, DeuCerto );
/* remove o Nó apontado por LB.Header→Dir */
/* O parâmetro DeuCerto é atualizado pela operação Remove_P */
} // fim Desempilha
```

Quadro 7.13 Empilha e Desempilha Implementadas a Partir de Operações de Baixo Nível de uma Lista Encadeada

As demais operações de uma Pilha - Cria, Vazia e Cheia podem ser implementadas pelo acionamento direto das operações de mesmo nome da Lista Encadeada Genérica.

Exercício 7.9 Fila a Partir de Operações de Baixo Nível

Implemente uma Fila utilizando as Operações de Baixo Nível para Manipulação de Listas Encadeadas, especificadas no Quadro 7.11. Considere uma Lista Básica implementada como uma Lista Circular, Duplamente Encadeada e com Nó Header. Primeiramente escolha a posição da Lista Básica na qual ficará armazenado o primeiro elemento da Fila, a posição na qual ficará armazenado o último elemento da Fila, e depois implemente as operações Insere e Retira.

Para implementar uma Fila a partir das operações da Lista Básica, basta convencionar, por exemplo, que o primeiro elemento da Fila ficará armazenado a direita de LB.Header, e o último elemento da Fila ficará a esquerda de LB.Header. Como queremos inserir novos elementos sempre no final da Fila, chamamos a operação InsereADireitaDeP tendo como segundo parâmetro o

ponteiro LB.Header→Esq - veja o algoritmo no Quadro 7.14. Ou seja, estamos inserindo o novo Nó a direita do Nó apontado por LB.Header→Esq. Observe no Quadro 7.12 que LB.Header→Esq aponta para o Nó que contém o valor 'A'. Ao solicitar a inserção a direita desse Nó, estamos colocando o novo elemento no final da Fila.

Na operação Retira, chamamos Remove_P tendo como segundo parâmetro LB.Header→Dir. Ou seja, estamos solicitando a remoção do Nó apontado por LB.Header→Dir. Veja no Quadro 7.12 que LB.Header→Dir aponta para o Nó que contém o valor 'C'. Ou seja, o primeiro elemento da Fila, conforme convencionamos.

```
Insere (parâmetro por referência LB do tipo ListaBásica, parâmetro X do tipo Char,
parâmetro por referência DeuCerto do tipo Boolean) {
/* Insere o elemento X no final da Fila implementada na Lista Básica LB */
InsereADireitaDeP(LB, LB.Header→Esq, X, DeuCerto);   /* insere X a direita do Nó
apontado pelo segundo parâmetro, ou seja, a direita de LB.Header→Esq. O parâmetro
DeuCerto é atualizado pela operação InsereADireitaDeP */
} // fim Insere na Fila

Retira(parâmetro por referência LB do tipo ListaBásica, parâmetro por referência X do tipo
Char, parâmetro por referência DeuCerto do tipo Boolean) {
/* Retira o primeiro elemento da Fila, retornando seu valor no parâmetro X */
X = Info_de_P( LB, LB.Header→Dir, DeuCerto );
/* pega valor do Nó apontado por LB.Header→Dir */
Remove_P ( LB, LB.Header→Dir, DeuCerto );
/* remove o Nó apontado por LB.Header→Dir */
/* O parâmetro DeuCerto é atualizado pela operação Remove_P */
} // fim Retira da Fila
```

Quadro 7.14 Operações para Inserir e Retirar Elementos de uma Fila Implementadas com Primitivas de Baixo Nível

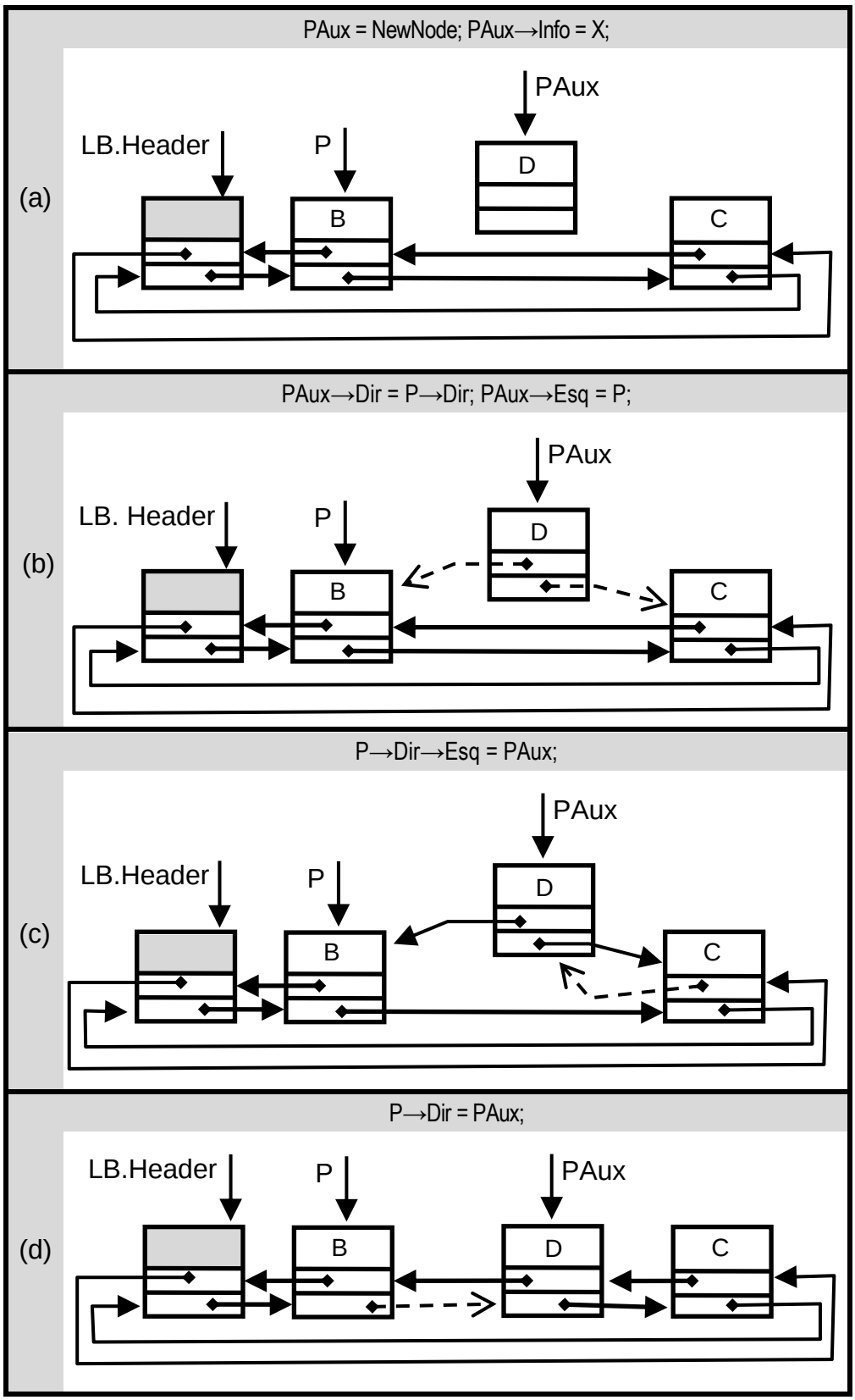
Utilizando as operações de baixo nível ficou bem fácil implementar uma Pilha e uma Fila, não ficou? Também é possível implementar uma Lista Cadastral com bastante agilidade.

Exercício 7.10 Lista Cadastral Sem Repetições a Partir de Operações de Baixo Nível para Listas Encadeadas

Implemente uma Lista Cadastral utilizando as Operações de Baixo Nível para Manipulação de Listas Encadeadas, especificadas no Quadro 7.11. Considere uma Lista Básica implementada como uma Lista Circular, Duplamente Encadeada e com Nó Header. Implemente as operações Insere e Retira.

Implementando as Operações de Baixo Nível

Já implementamos uma Pilha e uma Fila a partir das Operações de Baixo Nível especificadas no Quadro 7.11. Queremos agora implementar essas Operações de Baixo Nível.



Quadro 7.15 Execução - Operação InsereADireitaDeP

Exercício 7.11 Operação InsereADireitaDeP

Implemente a operação InsereADireitaDeP, de uma Lista Básica, com Operações de Baixo Nível, implementada como uma Lista

Circular, Duplamente Encadeada, com Nó Header, conforme ilustrado no Quadro 7.12.

O Quadro 7.15 apresenta, passo a passo, comandos e diagramas que implementam a operação InsereADireitaDeP. Na situação inicial a lista conta com dois elementos - 'A' e 'B', além do Nó Header. Alocamos um novo Nó (PAux = NewNode), e colocamos a informação que queremos armazenar nesse novo Nó (PAux→Info = X) - Quadro 7.15a. Como queremos inserir esse novo Nó a direita do Nó apontado por P, o campo Dir do Nó apontado por PAux apontará para onde aponta o campo Dir do Nó apontado por P. O campo Esq do Nó apontado por PAux passa a apontar para P. O efeito dessas operações é destacado pelas setas pontilhadas do Quadro 7.15b.

Em seguida, conforme ilustra a seta pontilhada do Quadro 7.15c, o campo Esq do Nó apontado por P→Dir passa a apontar para PAux. Finalmente, no Quadro 7.15d, o campo Dir do Nó apontado por P passa a apontar para PAux. PAux é uma variável temporária, que deixa de existir ao final da operação. O Quadro 7.16 apresenta um algoritmo conceitual que implementa a operação InsereADireitaDeP.

```
InsereADireitaDeP (parâmetro por referência LB do tipo ListaBásica, parâmetro P do tipo
NodePtr, parâmetro por referência DeuCerto do tipo Boolean) {
/* Insere um novo Nó imediatamente a direita do Nó apontado por P, passado como
parâmetro */
Variável auxiliar NovoNó do tipo NodePtr;    // NodePtr = ponteiro para Nó
Se (Cheia(LB)==Verdadeiro)
Então DeuCerto = Falso;
Senão { DeuCerto = Verdadeiro;
        PAux = NewNode;
        PAux→Info = X;
        PAux→Dir = P→Dir;
        PAux→Esq = P;
        P→Dir→Esq = PAux;
        P→Dir = PAux;
        Aux = Null;
        } // fim Senão
        } // fim Insere_a_Direita_de_P
```

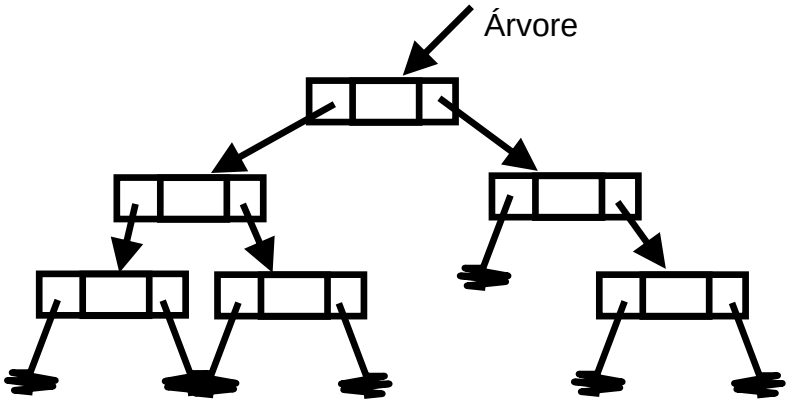
Quadro 7.16 Implementação da Lista Genérica: Operações Remove_P e Insere_a_Direita_de_P

Exercício 7.12 Remove_P, EstáNaLista e Info_de_P
Implemente as seguintes Operações de Baixo Nível, especificadas no Quadro 7.11: Remove_P, EstáNaLista e Info_de_P. A Lista Básica deve implementada como uma Lista Duplamente Encadeada, Circular, e com Nó Header. Apresente também diagramas com a execução passo a passo das operações, semelhante ao realizado no Quadro 7.14.

7.4- Generalização de Listas Encadeadas

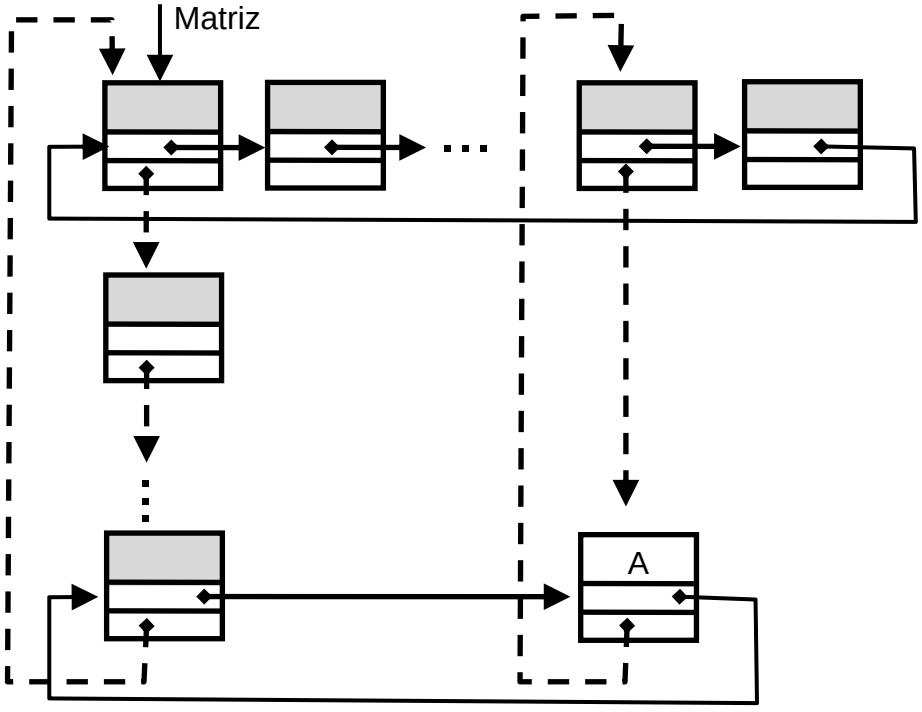
Até o momento estudamos Estruturas Encadeadas em que cada elemento possui um único elemento que é o seu próximo na sequencia. No caso das Listas Duplamente Encadeadas, cada elemento possui um próximo e um anterior, os quais designamos como elemento da direita e elemento da esquerda.

Mas é possível projetarmos Estruturas Encadeadas nas quais, para cada elemento, pode existir mais que um "próximo". Um exemplo desse tipo de estrutura é a Árvore (Quadro 7.17), que estudaremos mais detalhadamente nos Capítulos seguintes.



Quadro 7.17 Exemplo: Árvores

Um outro exemplo em que cada elemento pode possuir "mais que um próximo" seria uma Estrutura Encadeada para armazenamento e manipulação de Matrizes Esparsas - Quadro 7.18. Matrizes Esparsas são matrizes de grandes dimensões, em que a maioria dos elementos possui o valor zero. Os elementos não nulos estão "esparsos" na matriz - daí o nome Matrizes Esparsas.



Quadro 7.18 Exemplo: Matrizes Esparsas

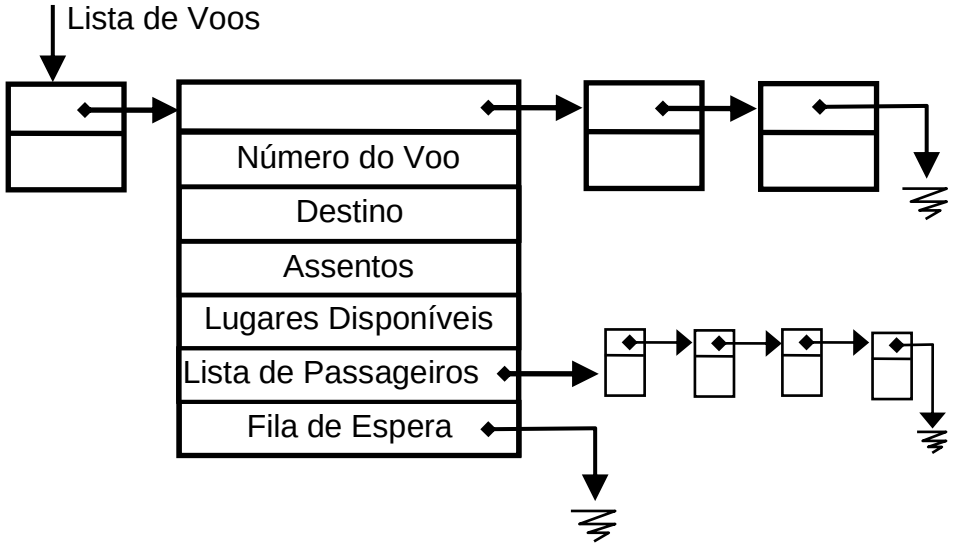
Na implementação encadeada do Quadro 7.18, cada elemento não nulo da Matriz está armazenado em um Nó. E cada Nó da estrutura é encadeado em duas Listas: uma Lista encadeando todos os elementos não nulos da mesma linha da matriz, e uma outra Lista conectando todos os elementos não nulos na mesma coluna da Matriz.

As Listas de linhas e de colunas são implementadas como Listas Encadeadas Circulares, com Nó Header. Assim, temos um Nó Header para cada Linha, e um Nó Header para cada Coluna. No exemplo do Quadro 7.18, temos representado um único elemento não nulo, de valor 'A'. Este elemento está encadeado na Lista da Linha pelas setas continuas, e na Lista da Coluna pelas setas tracejadas.

Estruturas Aninhadas

Também é possível implementar estruturas encadeadas aninhadas. Imagine que em um sistema de reserva de passagens aéreas as informações são armazenadas em uma Lista de Voos. Cada Nó da Lista de Voos armazena o número do Voo, o destino do Voo, o total de assentos, o número de assentos ainda disponíveis, a Lista de Passageiros daquele Voo, e a Fila de Espera para aquele Voo.

Como podemos armazenar uma Lista de Passageiros e uma Fila de Espera "dentro" de um Nó da Lista de Voos? Na prática, a Lista de Passageiros e a Fila de Espera não ficariam armazenados "dentro" do Nó. O Nó armazenaria um ponteiro para a estrutura, como mostra o Quadro 7.19. Ao manipular a Lista de Voos, devemos considerar a Lista de Passageiros e a Fila de Espera como Tipos Abstratos de Dados, e manipular estas estruturas exclusivamente através dos seus respectivos operadores - insere, elimina, e assim por diante. Usando a analogia que estudamos no Capítulo 1, a Lista de Voos deve manipular a Lista Passageiros e a Fila de Espera apenas "pelos botões da TV".



Quadro 7.19 Exemplo: Estruturas Aninhadas

Estruturas Genéricas Quanto ao Tipo do Elemento: Templates

Implementamos Pilhas, Filas e Listas Cadastrais com elementos de um tipo específico. Por exemplo, uma Pilha de elementos do tipo Carta ou de elementos do tipo Inteiro. O funcionamento de uma Pilha de Cartas é idêntico ao funcionamento de uma Pilha de Inteiros. Se já temos desenvolvida uma Pilha de Cartas e queremos implementar uma Pilha de Inteiros, temos que implementar tudo novamente e repetir boa parte do código?

A Linguagem C++ oferece um mecanismo específico para a implementação de estruturas genéricas quanto ao tipo do elemento: os Templates. Ao implementar uma Pilha, por exemplo, indicamos, através de um Template, que o tipo do elemento será definido posteriormente. Então, no momento de criar a Pilha, indicamos o tipo do elemento. Isso permite que um mesmo código seja utilizado para criar Pilhas de elementos de tipos diferentes.

No exemplo do Quadro 7.20, apresentamos trechos da definição de uma Classe Nó e de uma Classe Pilha. Indicamos, através do Template denominado "TipoDoElemento", que o tipo dos elementos que serão armazenados na Pilha será definido posteriormente. Então criamos uma Pilha de elementos do tipo Carta, e outra Pilha de elementos do tipo Inteiro.

```
/* definição da Classe Node */
template<class TipoDoElemento> class Node {
                                //class Node usa  template TipoDoElemento
private:
TipoDoElemento Info;  // o tipo do elemento será definido posteriormente
Node<TipoDoElemento>* Next;
...
/* definição da Classe Pilha */
template<class TipoDoElemento> class Pilha {

private:
Node<TipoDoElemento> * Topo;
...
/* no momento de criar as Pilhas, indicamos o tipo dos elementos */
Pilha<int> * p1 = new Pilha<int>();              // cria uma Pilha de Inteiros - P1
Pilha<Carta> * p2 = new Pilha<Carta>();      // cria uma Pilha de Cartas - P2
```

Quadro 7.20 Templates: Pilha de Inteiros e Pilha de Cartas

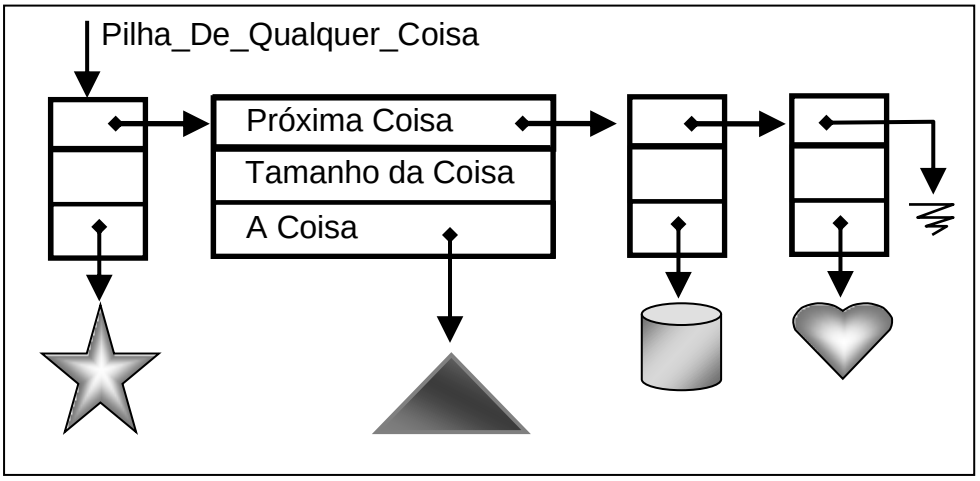
Elementos de Tipos Diferentes em uma Mesma estrutura

O uso de Templates permite elaborar um código genérico quanto ao tipo de elemento, mas no momento de criar a estrutura o tipo precisará ser definido. Uma vez definido o tipo do elemento, a estrutura só poderá receber elementos daquele tipo. Por exemplo, se criarmos uma Pilha de Inteiros, não poderemos inserir um elemento do tipo Carta na Pilha de Inteiros.

E se quisermos inserir, em uma mesma Pilha, elementos de qualquer tipo? Como poderíamos inserir em uma mesma Pilha,

elementos do tipo Inteiro, do tipo Carta, do tipo Pessoa e do tipo Automóvel?

Ao invés de armazenar o elemento "dentro" do Nó, podemos armazenar no Nó um ponteiro para o elemento. Além disto, podemos armazenar no Nó uma indicação do tamanho do elemento que será inserido, como esquematizado no Quadro 7.21.



Quadro 7.21 Inserindo Elementos de Tipos Diferentes em uma Única Pilha

Funcionalidade Versus Técnica de Implementação

Desenvolvemos Pilhas, Filas e Listas Cadastrais utilizando como técnicas de implementação as Listas Encadeadas, e técnicas complementares como encadeamento duplo, listas circulares, nó header e primitivas de baixo nível. Considere, por exemplo, que implementamos a funcionalidade de uma Pilha através de (a) uma lista duplamente encadeada, e também através de (b) uma lista, com header. A funcionalidade da Pilha é exatamente a mesma, seja qual for a técnica de implementação utilizada. A lista duplamente encadeada, e a lista com header foram apenas exemplos de técnicas de implementação, para implementar a funcionalidade de uma Pilha.

As Listas Encadeadas, com suas diversas variações, constituem técnicas de implementação poderosas e flexíveis. É possível adaptar ou ainda combinar algumas das técnicas estudadas para projetar sua própria estrutura encadeada, para implementar da maneira possível a funcionalidade requerida por sua aplicação.

Exercício 7.13 Fila com Atendimento Prioritário a Idosos

Decidiu-se que uma Fila de espera em determinada organização deve respeitar dois critérios: (1) a idade do indivíduo que está na Fila, em anos; (2) a ordem de chegada. O primeiro a ser atendido será sempre o individuo com idade mais alta. Se houver mais que um individuo com a mesma idade, será respeitado o segundo critério, que é a ordem de chegada. Projete uma estrutura para implementar esta Fila com Atendimento Prioritário a Idosos.

Implemente a funcionalidade definida com a técnica de implementação que considerar mais adequada.

Exercício 7.14 Lista Cadastral em C++
Implemente uma Lista Cadastral em C++. Escolha uma técnica de implementação para que você possa exercitar os conceitos estudados no Capítulo 7.

Projete Sua Própria Estrutura!

As Listas Encadeadas, e suas variações, constituem uma técnica poderosa e flexível para armazenamento temporário de conjuntos de elementos. É possível adaptar ou combinar diversas técnicas para projetar estrutura encadeada que melhor atenda as peculiaridades de sua aplicação.

Consulte nos Materiais Complementares

Vídeos Sobre Listas Encadeadas - Técnicas Complementares
Animações Sobre Listas Encadeadas - Técnicas Complementares

http://edcomjogos.dc.ufscar.br

Exercícios de Fixação

Exercício 7.15 Que vantagens você pode apontar quanto ao uso de um Nó Header, em uma estrutura de armazenamento?

Exercício 7.16 Em sua opinião, quais são as vantagens e as desvantagens de implementar Pilhas, Filas e Listas Cadastrais a partir de primitivas de baixo nível para manipulação de Listas Encadeadas, como as do Quadro 7.11?

Exercício 7.17 Explique a seguinte frase: "Pilhas, Filas e Listas Cadastrais possuem uma funcionalidade bem definida, e podem ser implementadas através de Listas Encadeadas ou através de outras técnicas". Neste contexto, qual a diferença entre uma Lista Cadastral e uma Lista Encadeada?

Soluções para Alguns dos Exercícios

Exercício 7.3 Pilha - Lista Circular Duplamente Encadeada - Desempilha, Cria e Vazia

```
Cria (parâmetro por referência P do tipo Pilha) {
/* Cria a Pilha P, inicializando a Pilha como vazia - sem nenhum elemento. */
P.Topo = Null;
} // fim Cria Pilha

Boolean Vazia (parâmetro por referência P do tipo Pilha) {
/* Retorna Verdadeiro se a Pilha P estiver vazia; Falso caso contrário */
Se (P.Topo == Null)
```

```
Então Retorne Verdadeiro;   // a Pilha P está vazia
Senão Retorne Falso;        // a Pilha P não está vazia
} // fim Vazia

Desempilha(parâmetro por referência P do tipo Pilha, parâmetro por referência X do tipo Char, parâmetro por referência
DeuCerto do tipo Boolean) {
/* Se a Pilha P estiver vazia o parâmetro DeuCerto deve retornar Falso. Caso a Pilha P não estiver vazia, a operação
Desempilha deve retornar o valor do elemento do topo da Pilha no parâmetro X. O Nó em que se encontra o elemento do
topo deve ser desalocado, e o topo da Pilha deve ser atualizado */

Variável PAux do tipo NodePtr;

Se (Vazia(P)==Verdadeiro)
Então DeuCerto = Falso;             // se a Pilha P estiver vazia, não desempilha
Senão { DeuCerto = Verdadeiro;
        Se (P.Topo→Dir == P.Topo(
        Então {     /* trata o Caso 1 - Pilha com um único elemento... passará a ser vazia */
                    PAux = P.Topo;
                    P.Topo = Null;
                    DeleteNode(PAux);
                    PAux = Null;            // só pode ir para Null após o FreeNode
                }
        Senão { /* trata o Caso 2 - Pilha com vários elementos */
                    PAux = P.Topo;
                    P.Topo = P.Topo→Dir;  // atualiza o Topo da Pilha
                    P.Topo→Esq = Paux→Esq;
                    PAux→Esq→Dir = P.Topo;
                    DeleteNode(PAux);
                    PAux = Null;            // só pode ir para Null após o DeleteNode
                }
        }
} // fim Desempilha
```

Exercício 7.4 TAD Fila Implementada como Lista Circular Duplamente Encadeada

Sugestão: faça uma fila com dois ponteiros: F.Primeiro e F.Último, considere o elemento mais a esquerda como primeiro elemento da Fila, e o mais a direita como o último.

Exercício 7.5 TAD Lista Cadastral Implementada como Lista Circular Duplamente Encadeada, Não Ordenada

Solução Parcial - Operação Retira:

```
Retira (parâmetro por referência L do tipo Lista, parâmetro X do tipo Char, parâmetro por referência Ok do tipo Boolean) {
/* Caso X for encontrado na Lista L, retira X da Lista e Ok retorna Verdadeiro. Se X não estiver na Lista L, não retira nenhum
elemento, e Ok retorna o valor Falso */

Variável P do tipo NodePtr;          // Tipo NodePtr = ponteiro para Nó
Variável AchouX do tipo Boolean;

/* Passo 1: tenta encontrar X na Lista */
Se (L.Primeiro == Null)      // Lista Vazia
Então AchouX = Falso;
Senão { P = L.Primeiro→Dir;  // P é um ponteiro auxiliar que percorre a Lista. A Lista não é..
                             // ... ordenada; logo, podemos iniciar a busca em L.Primeiro→Dir

        /* enquanto (não achou X) E (não deu a volta na Lista), continua avançando P */
        Enquanto (( P→Info != X )  E ( P != L.Primeiro ) )
              P = P→Dir;
        Se (P→Info == X)
        Então AchouX = Verdadeiro;
        Senão AchouX = Falso;
       }

/* Passo 2: se encontrou X, remover da Lista o Nó que contém X */
Se (AchouX == Verdadeiro)                   // se X foi encontrado na Lista
Então {     Se (P != L.Primeiro)            // se X não estiver no primeiro Nó da Lista

            Então {     /* aqui estamos removendo um Nó que não é apontado por L */
                        Se (P == L.Atual) então L.Atual = L.Atual→Esq ;
                         // L.Atual é usado nas operações de percorrer a Lista

                        P→Dir→Esq = P→Esq;
                        P→Esq→Dir = P→Dir;
                        DeleteNode(P);
                        P = Null;
                        } // fim então

            Senão {     /* aqui estamos removendo o Nó apontado por L.Primeiro */
                        Se (P == L.Atual) então L.Atual = L.Atual→Esq ;
                        // L.Atual é usado nas operações de percorrer a Lista

                        Se (L.Primeiro→Dir == L.Primeiro)  // se a Lista tem um único Nó...
```

```
                    Então {     L.Primeiro = Null; // ... a Lista passará a ser vazia...
                                L.Atual = Null;
                          }
                    Senão L.Primeiro = L.Primeiro →Dir; // .. L. .Primeiro passa a apontar para um outro Nó qualquer
                    P→Dir→Esq = P→Esq;
                    P→Esq→Dir = P→Dir;
                    DeleteNode(P);
                    P = Null;
                    } // fim senão
        } // fim Então
} // fim Retira
```

Exercício 7.6 TAD Lista Cadastral Implementada como Lista Circular Duplamente Encadeada Não Ordenada, Sem Elementos Repetidos, e com Nó Header

Solução Parcial - Operações Cria e EstáNaLista:

```
Cria (parâmetro por referência L do tipo Lista) {
/* Cria a Lista sem nenhum elemento mas com o Nó Header. O ponteiro H aponta para o Nó Header. */
L.Header = NewNode;
L.Header →Dir = L.Header;
L.Header →Esq = L.Header;
L.Atual  = L.Header;
} // fim Cria

Boolean EstáNaLista (parâmetro por referência L do tipo Lista, parâmetro X do tipo Char) {
/* Caso X for encontrado na Lista L, retorna Verdadeiro. Retorna Falso caso contrário */

Variável P do tipo NodePtr;             // Tipo NodePtr = ponteiro para Nó
Variável AchouX do tipo Boolean;

P = L.Header→Dir;       // P é um ponteiro auxiliar que percorre a Lista
L.Header→Info = X;      // atribuição de X ao Nó Header, apenas para auxiliar na busca

Enquanto (P→Info != X)
        P = P→Dir;

Se  (P != L.Header)
Então AchouX = Verdadeiro;      // achamos um X armazenado na Lista
Senão AchouX = Falso;
Retorne AchouX;
} // fim EstáNaLista
```

Exercício 7.10 Implemente uma Lista Cadastral Sem Repetições a Partir das Operações de Baixo Nível para Manipulação de Listas Encadeadas

```
Insere (parâmetro por referência LB do tipo ListaBásica, parâmetro X do tipo Char, parâmetro por referência DeuCerto do
tipo Boolean) {

/* Insere o elemento X na Lista Cadastral Sem Repetições implementada na Lista Básica LB */

Variável P do tipo NodePtr;    // NodePtr = Ponteiro para Nó

Se (EstáNaLista(LB, X, P)==Verdadeiro)
Então DeuCerto = Falso;     // a Lista Cadastral é sem repetições
Senão InsereADireitaDeP(LB, LB.Header, X, DeuCerto);  /* insere X a direita do Nó apontado pelo segundo parâmetro. Não
precisamos que a Lista seja ordenada. Assim, inserimos em qualquer posição - por exemplo, a direita de LB.Header. O
parâmetro DeuCerto é atualizado pela operação InsereADireitaDeP  */
} // fim Insere

Retira(parâmetro por referência LB do tipo ListaBásica, parâmetro por referência X do tipo Char, parâmetro por referência
DeuCerto do tipo Boolean) {

/* Retira o X da Lista */

Variável P do tipo NodePtr;    // NodePtr = Ponteiro para Nó

Se (EstáNaLista(LB, X, P)==Verdadeiro)  // P estará apontando para o Nó onde está X
Então Remove_P (LB, P, DeuCerto);  // remove o Nó apontado por P
Senão DeuCerto = Falso;    // X não está na Lista, e não pode ser retirado
} // fim Retira
```

Exercício 7.12 Remove_P, EstáNaLista e Info_de_P

Solução Parcial:

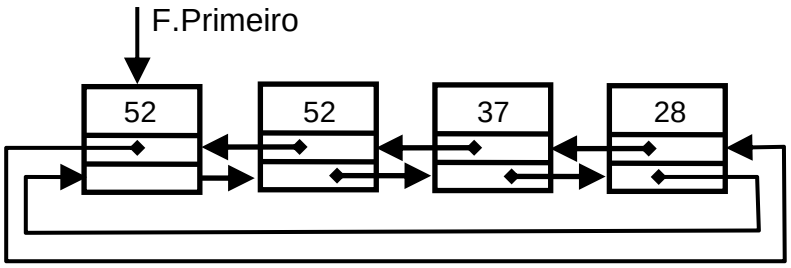
```
Remove_P (parâmetro por referência LB do tipo ListaBásica, parâmetro por referência P do tipo NodePtr, parâmetro por
referência DeuCerto do tipo Boolean) {
/* Remove o Nó apontado pelo ponteiro P, passado como parâmetro. A operação só não será bem sucedida se  houver uma
tentativa de remover o Nó Header - ou seja, se P = LB.Header */

Se (P == LB.Header)     // ou seja, se alguém está tentando remover o Nó Header...
Então DeuCerto = Falso;             // ... não permitimos remover o Nó Header
Senão {     DeuCerto = Verdadeiro;
```

```
Se (P == LB.Atual) então LB.Atual = LB.Atual→Esq ; // usado nas operações de percorrer a lista
P→Dir→Esq = P→Esq;
P→Esq→Dir = P→Dir;
DeleteNode(P);
P = Null;
}
} // fim Remove_P
```

Exercício 7.13 Fila com Atendimento Prioritário a Idosos

- Implemente, por exemplo, através de uma lista ordenada pela idade.
- Na operação insere, um indivíduo de idade X deve ser inserido APÓS todos os demais indivíduos com idade Y < X, e APÓS todos os indivíduos com a mesma idade X que já estão na Fila.
- Retirar sempre o primeiro da Fila.



Exercício 7.14 Lista Cadastral em C++

```
 /* arquivo testedup2.h - implementa uma Lista Cadastral sem elementos repetidos através de uma  Lista Circular
Duplamente Encadeada Não Ordenada e com Header */
#include<conio.h>
#include<stdio.h>
#include<iostream>

using namespace std;

struct Node {
   char Info;
   Node *Dir;
   Node *Esq;
};

typedef struct Node * NodePtr;

struct Lista{
   Node *Header;
   Node *Atual;
};

void Cria(Lista *L){
     L->Header = new Node();
     L->Header->Dir = L->Header;
     L->Header->Esq = L->Header;
     L->Atual = L->Header;
}

bool Vazia(Lista *L){
  if(L->Header->Dir == L->Header)  // ou L->Header->Esq = L->Header
    return true;
  else
    return false;
}

bool EstaNaLista(Lista *L, char X) {
NodePtr P;  // Tipo NodePtr = ponteiro para Nó
bool AchouX;

P = L->Header->Dir; // P é um ponteiro auxiliar que percorre a Lista
L->Header->Info = X;       // atribuição de X ao Nó Header, apenas para auxiliar na busca
while (P->Info != X)
   P = P->Dir;

if  (P != L->Header)
AchouX = true;      // achamos um X armazenado na Lista
else AchouX = false;
return AchouX;
} // fim EstaNaLista
```

```
void Insere(Lista *L, char X, bool *DeuCerto){
   if (EstaNaLista(L, X))
   *DeuCerto = false;
   else { NodePtr PAux = new Node;
         if (PAux == NULL)     // se PAux retornar NULL, não há mais memória
         *DeuCerto = false;    // a operação não deu certo - equivale a fila cheia
         else { *DeuCerto = true;
              PAux->Info = X;
              PAux->Dir = L->Header->Dir;
              PAux->Esq = L->Header;
              L->Header->Dir->Esq = PAux;
              L->Header->Dir = PAux;
              } // else
         } // else
} // Insere

void Retira(Lista *L, char *X, bool *DeuCerto){
   NodePtr P;
   if(Vazia(L)) {
   *DeuCerto=false;}
   else { P = L->Header->Dir;     // P  percorre a Lista
         L->Header->Info = *X;   //  apenas para auxiliar na busca
         while (P->Info != *X)
              P = P->Dir;
         if  (P == L->Header)
         *DeuCerto = false;       // achamos um X armazenado na Lista
         else { *DeuCerto = true;
               *X = P->Info;    // na verdade é o mesmo valor...
               P->Dir->Esq = P->Esq;
               P->Esq->Dir = P->Dir;
               if (L->Atual == P) L->Atual = L->Atual->Esq;
               delete(P);
               P = NULL;
               } // else
         } // else
  } // retira

void PegaOPrimeiro(Lista *L, char *X, bool *TemElemento) {
L->Atual = L->Header->Dir;
if (L->Atual != L->Header)
 {               *TemElemento = true;
                 *X = L->Atual->Info; }
else *TemElemento = false;
} // fim PegaOPrimeiro

void PegaOProximo (Lista *L, char *X, bool *TemElemento) {
L->Atual = L->Atual->Dir; // tenta avançar para o próximo elemento
if (L->Atual == L->Header) // Se tiver elemento, retorna o valor em X
*TemElemento = false;
else {          *TemElemento = true;
                    *X = L->Atual->Info;
    }
} // fim PegaOProximo

void Destroi(Lista *L){    // remove todos os nós da Fila
    bool TemElemento, Ok;
    char X;
    PegaOPrimeiro(L, &X, &TemElemento );        // pega o primeiro, se existir
    while (TemElemento) {
         Retira(L, &X, &Ok);               // ao retirar elemento, Atual passa para Atual->Esq
         PegaOProximo(L, &X, &TemElemento); }
    delete (L->Header);
    L->Header = NULL;
    L->Atual = NULL;
} // fim Destroi */

/* arquivo testedup2.cpp - testa o TAD arquivo testedup2.h
   que implementa uma Lista Cadastral sem elementos repetidos através de uma
   Lista Circular Duplamente Encadeada Não Ordenada e com Header */

#include "testedup2.h"

void Imprime(Lista *L){    // imprime sem abrir a TV
    bool TemElemento, Ok;
    char X;
    cout << "imprimindo a lista: ";
    if (Vazia(L)==false) {
```

```
        PegaOPrimeiro(L, &X, &TemElemento );     // pega o primeiro, se existir
        while (TemElemento) {
          cout << " " << X ;
          PegaOProximo(L, &X, &TemElemento); }
          }
      cout << " " << endl ;
} // fim Imprime

int main(){
Lista *L = new Lista;
Cria(L);
bool Ok;
char Valor;
char Op = 't';
while (Op != 's') {
         cout << "digite: (i)inserir,(r)retirar,(t) testar,(s)sair [enter]" << endl;
         cin >> Op;
         switch (Op) {
          case 'i' : cout << "digite um UNICO CARACTER para inserir [enter]" << endl;
                   cin >> Valor;
                   Insere(L,Valor,&Ok);
                   if (Ok==true) cout << "> valor inserido" << endl;
                   else cout << "> nao conseguiu inserir" << endl;
                   break;
          case 'r' : cout << "digite o valor a ser retirado enter]" << endl;
                    cin >> Valor;
                    Retira (L, &Valor,&Ok);
                    if (Ok==true) cout << "valor retirado= " << endl;
                    else cout << "nao conseguiu retirar" << endl;
                    break;
          default : cout << "saindo... " << endl; Op = 's'; break;
          }; // case
          Imprime (L);
    } // while
    Destroi(L);       // retira todos os elementos da fila
    cout <<" pressione uma tecla... " << endl;
    getch();
    return(0);
}
```