Apresentação baseada em:

- Ramez Elmasri e Shamkant B. Navathe 6° Ed (2010)
- Material da Profa. Dra. Sarajane Marques Peres (UNIVESP)
- Material do Prof. Dr. André Santanchè (UNICAMP)

Banco de Dados

Controle de concorrência (parte 1)

FACOM – UFMS

Vanessa Borges

vanessa.a.borges@ufms.br

- **Capítulo 22: técnicas de controle de concorrência**

Propriedade das transações - ACID

- **Isolamento**
  - Transações são isoladas umas das outras
  - Garante que transações executadas concorrentemente sejam isoladas umas das outras, de modo que cada uma tenha a impressão de que nenhum outra transação está sendo executada concorrentemente a ela

T1

```
read_item(A);
A:=A-50
write_item(A);
read_item(B);
B:=B+50
write_item(B);
```

T2

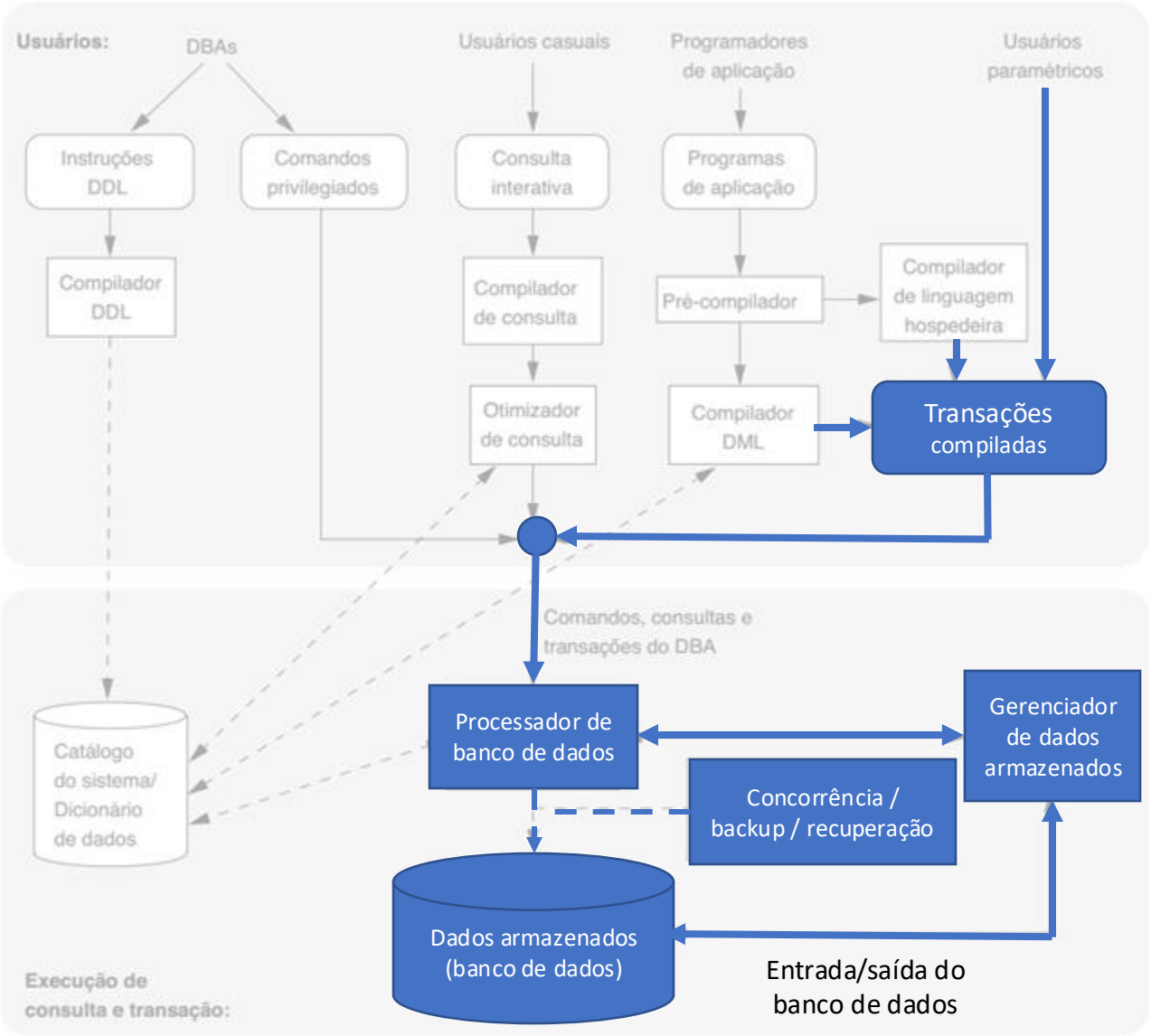
```
read_item(A);
A:=A*1,5;
write_item(A);
```

Assegurar o **ISOLAMENTO** de uma transação é **responsabilidade do Controle de Concorrência.**

Controle de Concorrência

- O **ISOLAMENTO** é uma das propriedades fundamentais de uma transação.
  - Quando diversas transações são executadas de **modo concorrente**, há o risco de ocorrer violação dessa propriedade
  - É necessário que o sistema controle a forma como as operações das transações são intercaladas durante a execução concorrente. Esse controle é realizado pelo **módulo de controle de concorrência**
  - Os o controle de concorrência têm por base a **propriedade de serialização**, ou seja, os esquemas devem garantir que a ordenação da execução das operações das diferentes transações concorrentes seja serializável

Controle de concorrência
Componentes do SGBD



Protocolos de controle de concorrência

- Uma das formas de garantir que apenas escalonamentos serializáveis sejam produzidos é **obrigar que o acesso aos itens de dados seja feito de maneira mutuamente exclusiva**:
  - Enquanto uma transação acessa um item de dados, nenhuma outra transação pode modificá-lo.
  - Para implementar isso pode-se usar o **método de bloqueio (*lock*).**

Bloqueio

- Um bloqueio (***lock***) é uma variável associada a um item de dado
  - Descreve a condição do item em relação às possíveis operações que podem ser aplicadas a ele
  - Geralmente há um bloqueio para cada item de dado

  - Bloqueios a serem analisados
    - Bloqueio binário
    - Bloqueio compartilhado/exclusivo (leitura/gravação)

Protocolo baseado em bloqueios
Bloqueio Binário

- Possui dois estados
  - Bloqueado (***locked***)
    - O item não pode ser acessado quando solicitado
  - Desbloqueado (***unlocked***)
    - O item pode ser acessado quando solicitado

  - Operações atômicas de bloqueio binário
    - **lock_item(X)**
    - **unlock_item(X)**

Protocolo baseado em bloqueios
Bloqueio Binário

- Operação de **lock_item(X)**

```
lock_item(X):
B:  se LOCK(X) = 0              (* item está desbloqueado *)
        então LOCK(X) ←1        (* bloqueia o item *)
    se não
        início
        wait (until LOCK(X) = 0
            e o gerenciador de bloqueio desperta a transação);
        go to B
        fim;
```


Elmasri, Ramez. Sistemas de Bancos de Dados (p. 524).

Protocolo baseado em bloqueios
Bloqueio Binário

- Operação de **unlock_item(X)**

```
unlock_item(X):
    LOCK(X) ← 0;                    (* desbloqueia o item *)
    se alguma transação estiver esperando
        então acorda uma das transações em espera;
```


Elmasri, Ramez. Sistemas de Bancos de Dados (p. 524).

Protocolo baseado em bloqueios
Bloqueio Binário

- Regras
  - Para cada transação
    - **lock_item(X)**
      - Antes de read_item(X) ou write_item(X) serem realizadas em T
      - Se X ainda não possuir o lock
    - **unlock_item(X)**
      - Depois de todas a operações
      - Apenas se possuir o lock de X

Protocolo baseado em bloqueios
Bloqueio Binário

- **Conclusões**

  - Simples mas muito restritivo
    - Desnecessário o bloqueio quando existe apenas operação de leitura
  - Não é utilizado na prática

Protocolo baseado em bloqueio
Bloqueio Compartilhado / Exclusivo

- É uma variação do bloqueio binário
- Um bloqueio associado ao item X possui três estados possíveis
  - **Bloqueado para leitura (*read lock*) - bloqueio compartilhado (*shared lock*):**
    - Se uma transação Ti obteve um bloqueio **compartilhado** sobre o item de dado X, então Ti **pode ler**, mas **não pode escrever** em X.
    - Mais de uma transação pode emprega-lo
  - **Bloqueado para gravação (*write lock*) - bloqueio exclusivo (*exclusive lock*):**
    - Se uma transação Ti obteve um bloqueio **exclusivo** do item de dado X, então Ti **pode tanto ler como escrever** em X.
    - Somente uma transação pode solicitá-lo
  - **Desbloqueado**

Matriz de compatibilidade

	Compartilhado	Exclusivo
Compartilhado	Sim	Não
Exclusivo	Não	Não

Protocolo baseado em bloqueio
Bloqueio Compartilhado / Exclusivo

- Operação de **read_lock(X) / shared_lock(X)**

```
read_lock(X):
B:  se LOCK(X) = "unlocked"
        então início LOCK(X) ← "read-locked";
                num_de_leituras(X) ← 1
                fim
    se não se LOCK(X) = "read-locked"
        então num_de_leituras(X) ← num_de_leituras(X) + 1
    se não início
            wait (até que LOCK(X) = "unlocked"
                e o gerenciador de bloqueio desperta a transação);
            go to B
            fim;
```


Elmasri, Ramez. Sistemas de Bancos de Dados (p. 526).

Protocolo baseado em bloqueio
Bloqueio Compartilhado / Exclusivo

- Operação de **write_lock(X)/ exclusive_lock(X)**

```
write_lock(X):
B:  se LOCK(X) = "unlocked"
        então LOCK(X) ← "write-locked"
    então início
            wait (até que LOCK(X) = "unlocked"
                e o gerenciador de bloqueio desperta a transação);
            go to B
            fim;
```


Elmasri, Ramez. Sistemas de Bancos de Dados (p. 526).

Protocolo baseado em bloqueio
Bloqueio Compartilhado / Exclusivo

- Operação de **unlock(X)**

```
unlock (X):
    se LOCK(X) = "write-locked"
        então início LOCK(X) ← "unlocked";
                desperta uma das transações aguardando, se houver
                fim
    se não se LOCK(X) = "read-locked"
        então início
                num_de_leituras(X) ← num_de_leituras(X) –1;
                se num_de_leituras(X) = 0
                    então início LOCK(X) = "unlocked";
                            desperta uma das transações aguardando, se houver
                            fim
                fim;
```


Elmasri, Ramez. Sistemas de Bancos de Dados (p. 526).

Protocolo baseado em bloqueio
Bloqueio Compartilhado / Exclusivo

- Regras
  1. Uma transação T precisa emitir a operação read_lock(X) ou write_lock(X) antes que qualquer operação read_item(X) seja realizada em T.
  2. Uma transação T precisa emitir a operação write_lock(X) antes que qualquer operação write_item(X) seja realizada em T.
  3. Uma transação T precisa emitir a operação unlock(X) após todas as operações read_item(X) e write_item(X) serem completadas em T.
  4. Uma transação T **não** emitirá uma operação read_lock(X) se ela já mantiver um bloqueio de leitura (compartilhado) ou um bloqueio de gravação (exclusivo) no item X. **Essa regra pode ser flexível, conforme discutiremos em breve.**
  5. Uma transação T **não** emitirá uma operação write_lock(X) se ela já mantiver um bloqueio de leitura (compartilhado) ou um bloqueio de gravação (exclusivo) no item X. **Essa regra pode ser flexível, conforme discutiremos em breve.**
  6. Uma transação T **não** emitirá uma operação unlock(X) a menos que já mantenha um bloqueio de leitura (compartilhado) ou um bloqueio de gravação (exclusivo) no item X.

Protocolo baseado em bloqueio
Bloqueio Compartilhado / Exclusivo (UPGRADE / DOWNGRADE)

- **Conversão de bloqueios**
  - Foi descrito com o objetivo de flexibilizar os itens 4 e 5 das regras de bloqueio compartilhado / exclusivo

  - **LOCK UPGRADE**
    - read_lock(X) → write_lock(X)
      - Condição: não há outro read_lock em X

  - **LOCK DOWNGRADE**
    - write_lock(X) → read_lock(X)

Exemplo: Bloqueio Compartilhado / Exclusivo Serialização

Valores iniciais: **X= 20, Y=30**

Plano Serial - A

T1	T2

read_item(Y);
read_item(X);
X=X+Y;
write_item(X);	

	read_item(X);
	read_item(Y);
	Y=X+Y;
	write_item(Y);

Resultado: X=50, Y=80

Plano Serial - B

T1	T2

	read_item(X);
	read_item(Y);
	Y=X+Y;
	write_item(Y);

read_item(Y);
read_item(X);
X=X+Y;
write_item(X);	

Resultado: X=70, Y=50

Plano Intercalado - S

T1	T2
read_item(Y);	

	read_item(X);
	read_item(Y);
	Y=X+Y;
	write_item(Y);

read_item(X);
X=X+Y;
write_item(X);	

Resultado: X=50, Y=50
(Não serializável)

Exemplo: Bloqueio Compartilhado / Exclusivo Serialização

T1

read_item(Y);
read_item(X);
X=X+Y;
write_item(X);

T2

read_item(X);
read_item(Y);
Y=X+Y;
write_item(Y);

T1	T2	Controle de concorrência
read_lock(Y); read_item(Y); **unlock(Y);**		grant-read_lock(Y, T1)
	read_lock(X); read_item(X); **unlock(X);**	grant-read_lock(X, T2)

	write_lock(Y);
	read_item(Y);
	Y=X+Y;
	write_item(Y);
	unlock(Y);
		grant-write_lock(Y, T2)

write_lock(X);
read_item(X);
X=X+Y;
write_item(X);
unlock(X);
		grant-write_lock(X, T1)

Não é serializável.

Não há ocorrência de impasses/*deadlocks*.

Controle de concorrência
Protocolos de bloqueio em duas fases

- Protocolo de bloqueio em duas fases (*two-phase locking protocol* – 2PL)
  - Esse protocolo exige que cada transação emita solicitações de bloqueio e desbloqueio em duas fases:
  - **FASE DE EXPANSÃO:** uma transação pode obter bloqueios, mas não pode libertar nenhum
  - **FASE DE ENCOLHIMENTO:** uma transação pode liberar bloqueios, mas não consegue obter nenhum bloqueio novo.
  - **Esse protocolo garante apenas a geração de esquemas de execução concorrente serializáveis. Ele não garante ausência de *deadlocks*.**

Exemplo: Bloqueio em duas fases
Ocorrência de *Deadlock*

T1

read_item(Y);
read_item(X);
X=X+Y;
write_item(X);

T2

read_item(X);
read_item(Y);
Y=X+Y;
write_item(Y);

T1	T2	Controle de concorrência
read_lock(Y); read_item(Y);		**grant-read_lock(Y, T1);**
	read_lock(X); read_item(X);	**grant-read_lock(X, T2);**
	write_lock(Y);	**wait(Y, T1);**
write_lock(X);		**wait(X, T2);**

unlock(Y);
read_item(X);
X=X+Y;
write_item(X);
unlock(X);
	unlock(X);
	read_item(Y);
	Y=X+Y;
	write_item(Y);
	unlock(Y);	

Exemplo: Bloqueio em duas fases
Ocorrência de *Deadlock*

T1

read_item(Y);
read_item(X);
X=X+Y;
write_item(X);

T2

read_item(X);
read_item(Y);
Y=X+Y;
write_item(Y);

T1	T2	Controle de concorrência
read_lock(Y); read_item(Y);		**grant-read_lock(Y, T1);**
	read_lock(X); read_item(X);	**grant-read_lock(X, T2);**
	write_lock(Y);	**wait(Y, T1);**
write_lock(X);		**wait(X, T2);**

unlock(Y);
read_item(X);
X=X+Y;
write_item(X);
unlock(X);
	unlock(X);
	read_item(Y);
	Y=X+Y;
	write_item(Y);
	unlock(Y);	

Deadlock!

Controle de concorrência
Protocolos de bloqueio

- Outros esquemas de controle de concorrência:

  - Protocolo de bloqueio em duas fases SEVERO
  - Protocolo de bloqueio em duas fases RIGOROSO
  - Protocolo de bloqueio de granularidade múltipla
  - Protocolo de bloqueio baseado em *timestamp*
  - Esquema de multiversão

Apresentação baseada em:

- Ramez Elmasri e Shamkant B. Navathe 6° Ed (2010)
- Material da Profa. Dra. Sarajane Marques Peres (UNIVESP)
- Material do Prof. Dr. André Santanchè (UNICAMP)

Banco de Dados

Introdução aos conceitos de Processamento de Transação (parte 2)

FACOM – UFMS

Vanessa Borges

vanessa.a.borges@ufms.br

- **Capítulo 22: técnicas de controle de concorrência**

Controle de Concorrência
Tratamento de Deadlock

O ***deadlock*** (impasse) ocorre quando cada transação T em um conjunto de duas ou mais transações está esperando por algum item que está bloqueado por alguma outra transação T’ no conjunto.

É necessário prevenir ou detectar a ocorrência de deadlocks

T1	T2	Controle de concorrência
read_lock(Y);		**grant-read_lock(Y, T1);**
read_item(Y);		
	read_lock(X);	**grant-read_lock(X, T2);**
	read_item(X);	
	write_lock(Y);	**wait(Y, T1);**
write_lock(X);		**wait(X, T2);**
unlock(Y);	**unlock(X);**	
read_item(X);	read_item(Y);	
X=X+Y;	Y=X+Y;	
write_item(X);	write_item(Y);	***Deadlock!***
unlock(X);	**unlock(Y);**	

Controle de Concorrência

- Existem duas abordagens principais para tratamento de *deadlock*

  - **Prevenção de *deadlock*:**
    - Forma de impedir o *deadlock* por meio de protocolos de prevenção
      - Garante que o sistema nunca entrará em situação de *deadlock*
    - *Deadlocks* ocorrem com maior frequência (pessimista)

  - **Detecção e recuperação de *deadlock*:**
    - Permite que o sistema entre em um estado de *deadlock* e então o remove desse estado recuperando-o.
    - *Deadlocks* não ocorrem com frequência (otimista)

Controle de Concorrência
Prevenção de *deadlock*

- **Abordagem 1**
  - Utilizado no 2PL conservador
  - Obriga que cada transação bloqueie **todos os itens de dados antes de sua execução**.
    - Se qualquer um dos itens não puder ser obtido, nenhum item é bloqueado (a transação entra em estado de espera).
  - **Esse esquema limita a concorrência**

Controle de Concorrência
Prevenção de *deadlock*

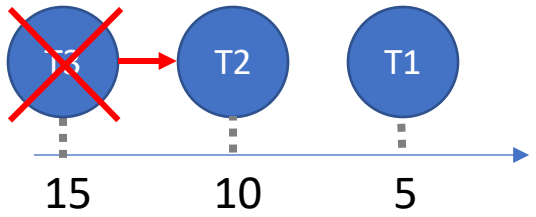
- **Abordagem 2**
  - Utiliza o conceito de ***timestamp*** (selo de tempo)
    - Quando uma transação T2 solicita o bloqueio que está sendo mantido pela transação T1, o bloqueio concedido a T1 pode ser revisto por meio do *rollback* de T1 concedido a T2.
    - Para controlar esse sistema, considera-se um único *timestamp* para cada transação. Eles são usados para decidir se a transação esperará pelo bloqueio ou será desfeita.
    - Se uma transação for desfeita, ela manterá seu *timestamp* original quando for reiniciada.
  - Duas técnicas de prevenção, que utilizam o conceito de registro de *timestamp*, são:
    - esperar-morrer (*wait-die*)
    - ferir-esperar (*wound-wait*)

Tratamento de impasse – DEADLOCK
Protocolo de prevenção – esperar-morrer

Considere a seguinte situação:

- Em um determinado escalonamento, a transação Ti tenta bloquear um item X mas não consegue porque X está bloqueado pela transação Tj com um bloqueio em conflito.

- **Esperar-morrer (*wait-die*)**
  - Se TS(Ti) < TS(Tj), ou seja, Ti mas antiga do que Tj, então Ti é autorizada a esperar
    - Uma transação mais antiga é autorizada a esperar por uma transação mais nova
  - Se TS(Ti) > TS(Tj), ou seja, Ti mais nova do que Tj, então Ti é abortada e reiniciada posteriormente com o mesmo valor de registro de *timestamp*
    - Uma transação mais nova, que requeira um item bloqueado por uma transação mais antiga, é abortada e reiniciada

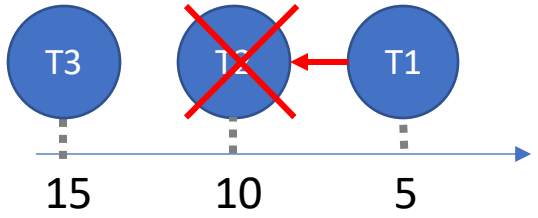


Tratamento de impasse – DEADLOCK
Protocolo de prevenção – ferir-esperar

Considere a seguinte situação:

- Em um determinado escalonamento, a transação Ti tenta bloquear um item X mas não consegue porque X está bloqueado pela transação Tj com um bloqueio em conflito.

- **ferir-esperar (*wound-wait*)**
  - Se TS(Ti) < TS(Tj), ou seja, Ti mas antiga do que Tj, então Tj é abortada (Ti fere Tj) e reiniciada posteriormente com o mesmo valor de registro de *timestamp*
    - Uma transação mais antiga, que requeira um item bloqueado por uma transação mais nova, apropria-se da transação mais nova, abortando a mesma



  - Se TS(Ti) > TS(Tj), ou seja, Ti mais nova do que Tj, então Ti é autorizada a esperar
    - Uma transação mais nova é autorizada a esperar pela mais antiga

Tratamento de impasse – DEADLOCK
Protocolo de prevenção

- **esperar-morrer (*wait-die*) / ferir-esperar (*wound-wait*)**

- Vantagens
  - As duas técnicas são livres de *deadlocks*
    - Acabam abortando a transação mais nova (que começou mais tarde), que poderia estar envolvida em *deadlocks*
- Desvantagens
  - As duas técnicas podem fazer com que transações sejam abortadas e reiniciadas sem necessidade, já que não necessariamente geram um *deadlock*

Tratamento de impasse – DEADLOCK
Protocolo de prevenção

- **Abordagem 3**

  - **Sem espera (*no waiting*)**
    - Se a transação for incapaz de obter o bloqueio, ela é imediatamente abortada e, posteriormente reiniciada
    - Não há transações em espera
    - Transações abortam e reiniciam sem necessidade

  - **Espera cuidadosa (*cautious waiting*)**
    - Considere a seguinte situação:
      - Em um determinado escalonamento, a transação Ti tenta bloquear um item X mas não consegue porque X está bloqueado pela transação Tj com um bloqueio em conflito.

    - Se Tj não estiver bloqueada (não esperando por outro item bloqueado), então Ti está bloqueada e tem permissão para esperar; caso contrário, aborte Ti.

    - É livre de *deadlock*, pois nenhuma transação esperará por outra transação bloqueada.

Controle de concorrência
Detecção e recuperação de *deadlocks*

- Solução utilizada quando há **pouca ocorrência de *deadlocks***

- *Timeout* (tempo-limite)
  - Se uma transação esperar por um período maior que o período de *timeout* definido pelo sistema, o sistema pressupõe que a transação pode entrar em *deadlock* e a aborta — independentemente de um *deadlock* realmente existir ou não.

- Grafo de espera
  - Um mecanismos é evocado periodicamente para examinar o estado do sistema e determinar se um *deadlock* está ocorrendo.
  - Se há um *deadlock*, seleciona-se uma **transação vítima** por meio de um ou mais critérios (com custo mínimo)

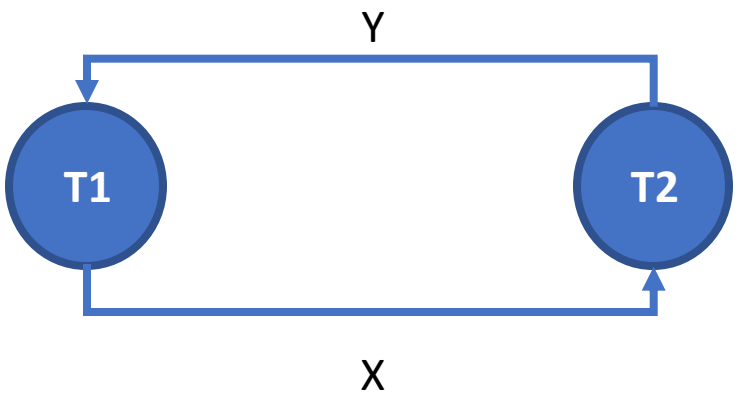
Tratamento de impasse
Detecção de *deadlock* – grafo de espera

- Uma forma de se detectar um estado de deadlock é construir e manter um **grafo de espera**
  - Um nó é criado no grafo de espera para cada transação que esteja sendo executada no momento
  - Uma aresta direcionada (nó Ti → nó Tj) é criada no grafo de espera sempre que uma transação Ti estiver esperando para bloquear um item que esteja bloqueado por uma transação Tj.
    - Quando Tj libera o bloqueio nos itens que Ti está esperando, a aresta direcionada é retirada do grafo de espera.
  - **Há um *deadlock* se, e somente se, o grafo de espera tiver um ciclo**

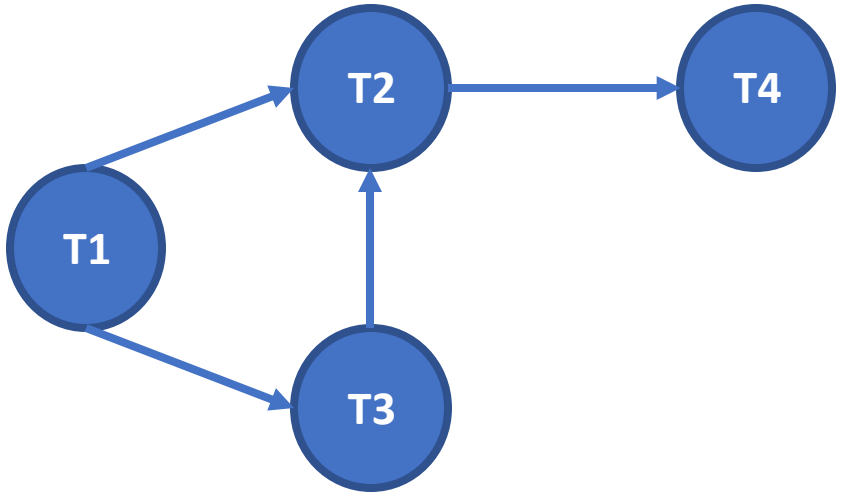
Tratamento de impasse
Detecção de deadlock – grafo de espera

T1	T2	Controle de concorrência
read_lock(Y); read_item(Y);		**grant-read_lock(Y, T1);**
	read_lock(X); read_item(X);	**grant-read_lock(X, T2);**
	write_lock(Y);	**wait(Y, T1);**
write_lock(X);		**wait(X, T2);**

unlock(Y);
read_item(X);
X=X+Y;
write_item(X);
unlock(X);
	unlock(X);
	read_item(Y);
	Y=X+Y;
	write_item(Y);
	unlock(Y);
		Deadlock!

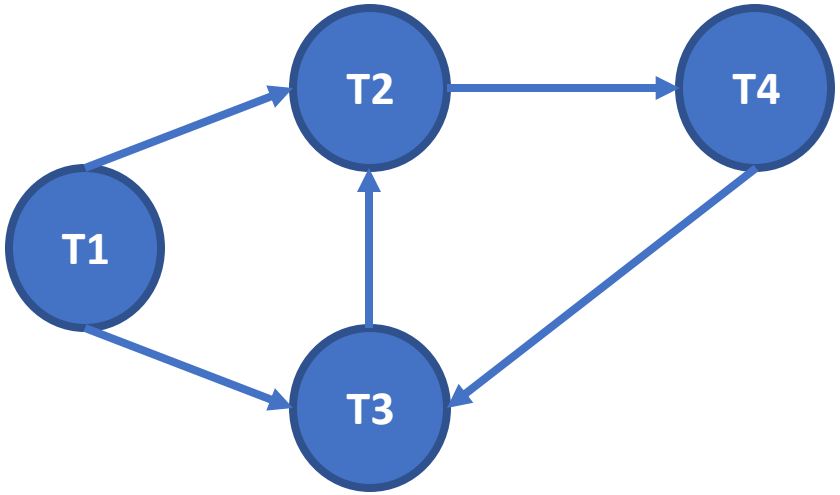


Tratamento de impasse
Detecção de *deadlock* – grafo de espera



A transação T1 está esperando as transações T2 e T3.
A transação T3 está esperando a transação T2.
A transação T2 está esperando a transação T4.

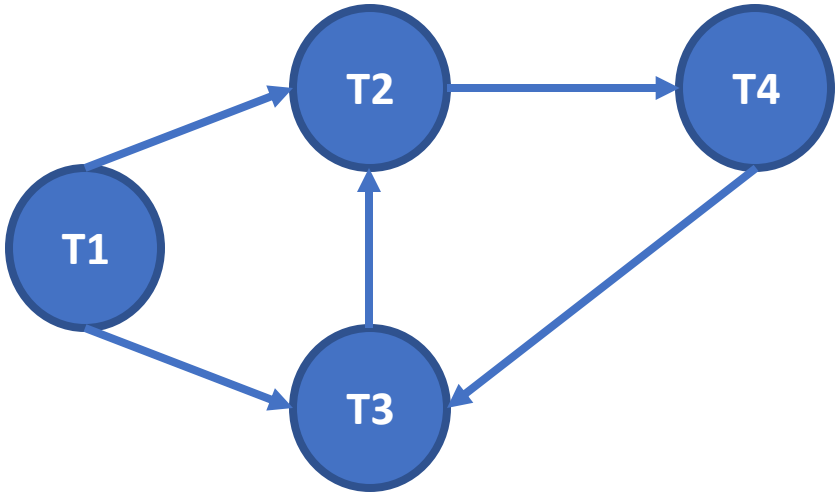
Tratamento de impasse
Detecção de *deadlock* – grafo de espera



A transação T4 está solicitando um item bloqueado por T3.

Há um ciclo no grafo! O sistema está em *deadlock*

Tratamento de impasse
Detecção de *deadlock* – grafo de espera



A transação T4 está solicitando um item bloqueado por T3.

Há um ciclo no grafo! O sistema está em *deadlock*

É preciso selecionar uma transação vítima quer será abortada.

Tratamento de impasse
Detecção de *deadlock* – inanição

- A inanição (*starvation*) pode ocorrer quando:
  - O esquema de espera para itens bloqueados for injusto, priorizando algumas transações em relação a outras
    - Solução 1: quanto mais uma transação espera, aumentar a sua prioridade de execução
    - Solução 2: utilizar um esquema de fila de tal forma que a primeira transação a chegar será a primeira a ser atendida

Controle de concorrência

- O controle de concorrência também precisa assegurar que os esquemas de execução concorrentes permitam a execução de procedimentos de **recuperação de falhas**.
- Para isso, os esquemas resultantes das execuções concorrentes devem ser:
  - **RECUPERÁVEIS**
    - Uma transação que depende de outra (usa um dado já alterado pela outra naquele esquema de execução concorrentemente) não pode ser efetivada antes que a outra seja.
  - **ESCALAS SEM CASCATA**
    - Uma transação usa um dado alterado por outra (naquele esquema de execução concorrente) apenas se a outra já foi efetivada.