

No que segue, serão utilizados termos **negritados** para denotar conjuntos de entidades (CE) e **negritados em itálico** para conjuntos de relacionamentos (CR). Ademais, termos em *itálico* serão utilizados para listar atributos e serão sublinhados quando se tratarem de chaves (fortes ou fracas).

Durante a modelagem, foram identificadas duas entidades centrais: o **Trem** e a **Estação Ferroviária**. Vamos analisá-las passando pelas outras entidades conforme necessário.

1 Trem

Para modelar o **Trem**, optei por fazê-lo como sendo uma entidade fraca da **Locomotiva**, que possui um Código Identificador, através do CR **Compõe** com uma Data de Início de chave fraca. Assim, será possível criar múltiplos trens com uma mesma **Locomotiva**, desde que sejam com datas distintas.

1.1 Locomotiva

Quando um **Trem** é encerrado e desmontado, deve ser preenchido o seu campo *Data de Fim*. Ao preencher a célula *Data de Fim*, o atributo derivado e critério de especialização exclusiva e total *Status Atual* da entidade **Locomotiva** é trocado para "*Locomotiva Parada*". Caso haja uma nova inserção de um relacionamento **Compõe** com um **Trem** o *Status Atual* volta a valer "*Locomotiva em Trânsito*".

Como precisamos armazenar o histórico, o CR **Compõe** deve permitir que uma **Locomotiva** participe de mais de um **Trem**. Por conta disso, uma possível inconsistência é a possibilidade de uma **Locomotiva** estar em dois trens ao mesmo tempo. Isto pode ser evitado simplesmente checando o *Status Atual* e, caso seja "*Locomotiva em Trânsito*", impedir novas inserções.

Vale notar também que uma **Locomotiva Parada** tem participação total no conjunto de relacionamento **Estaciona**, ou seja, deve obrigatoriamente estar em uma **Estação Ferroviária**.

1.2 Vagão e Carga

Para estas entidades, adicionei alguns atributos extras fora da especificação original. Em relação a **Carga**, adicionei o atributo booleano e critério de especialização exclusiva e total *É Sólido*. Então, **Carga** se divide em **Carga Sólida**, com o atributo *Peso*, e **Carga Não Sólida**, com os atributos *Volume*, *Densidade* e o derivado *Peso*, que é calculado multiplicando os dois primeiros. De modo semelhante, o **Vagão** tem critério de especialização exclusiva e total *Tipo*, que pode ser "*Vagão de Carga*" e "*Vagão de Tanque*".

Com isso, surgem dois relacionamentos ternários: o **Leva Carga**, com 1 **Trem**, N **Carga Sólida** e N **Vagão de Carga** e o **Leva Tanque** com 1 **Trem**, 1 **Carga Não**

Sólida e **N Vagão de Tanque**. Esses relacionamentos são bastantes similares mas há uma diferença sutil na cardinalidade. No primeiro, é possível levar **N Carga Sólida** distintas no mesmo **Vagão de Carga** e **Trem** enquanto no segundo, é possível levar somente 1 **Carga Não Sólida** no mesmo **Vagão de Tanque** e **Trem**. Isto foi feito para que não seja possível misturar em um **Vagão de Tanque** dois tipos de líquido/gás de cargas distintas.

O relacionamento ternário é importante para poder dizer com precisão em que **Vagão** e qual **Trem** uma **Carga** específica está. Note que se **Carga** e **Vagão** se relacionassem diretamente com **Trem**, utilizando dois binários, não seria possível localizar em qual **Vagão** está uma **Carga** e geraria diversas possíveis inconsistências. Outra possibilidade seria a criação de uma entidade agregada a partir de um relacionamento de **Vagão** com **Carga**, criando um "**Vagão Carregado**", e essa entidade se relacionar com o **Trem**. Essa solução funciona de modo similar a proposta, mas cria uma tabela a mais sem trazer grandes benefícios para a aplicação.

Para cada entrada na tabela **Leva Carga**, deverá estar preenchido o atributo *Peso Levado*. Vale notar que a soma dos *Peso Levado* relacionados a um mesmo **Vagão de Carga** e **Trem** deverá ser menor ou igual ao *Peso Máximo* do **Vagão de Carga**. Além disso, a soma dos *Peso Levado* de todos **Leva Carga** relacionados a uma mesma **Carga Sólida** e **Trem** deverá ser igual ao *Peso* dessa entidade. Isto é, não é aceito levar apenas uma parte da **Carga Sólida**, nem separá-la em múltiplos **Trem**.

De forma análoga, para cada entrada nas tabelas **Leva Tanque**, deverá estar preenchido o atributo *Volume Levado* e o atributo derivado *Peso Levado*, que é calculado multiplicando *Volume Levado* com a densidade da **Carga Não Sólida**. Vale destacar que *Volume Levado* deverá ser menor ou igual ao *Volume Máximo* do **Vagão de Tanque**. Além disso, a soma dos *Volume Levado* de todos **Leva Tanque** relacionados a uma mesma **Carga Não Sólida** e **Trem** deverá ser igual ao *Volume* dessa entidade. Isto é, não é aceito levar apenas uma parte da **Carga Não Sólida**, nem separá-la em múltiplos **Trem**.

Ademais, o atributo derivado *Peso Total* do **Trem** será a soma do *Peso* da **Locomotiva** com o *Peso Vazio* de todos **Vagão** relacionados por **Leva Carga** e **Leva Tanque** com o *Peso Levado* desses relacionamentos. Se um mesmo **Vagão de Carga** aparecer mais de uma vez no CR **Leva Carga** o *Peso Vazio* dele deverá ser somado apenas uma vez. *Peso Total* não poderá ser maior que a *Carga Máxima* da **Locomotiva**.

O conjunto de entidades **Vagão** possui o atributo derivado e critério de especialização exclusiva e total *Status Atual* que será "Vagão Conectado" caso **Vagão** esteja em um relacionamento **Leva Carga** ou **Leva Tanque** com um **Trem** cujo campo *Data de Fim* é *null*. Caso contrário, será "Vagão Parado" e **Vagão** deverá obrigatoriamente estar no CR **Estaciona**.

Por último, o conjunto de entidades **Carga** possui o atributo derivado e critério de especialização exclusiva e total *Status Atual* que será "Carga em Trânsito" caso **Carga** esteja em um relacionamento **Leva Carga** ou **Leva Tanque** com um **Trem** cujo campo *Data de Fim* é *null*. Caso *Data de Fim* não seja *null*, será "Carga Entregue". Por último, caso **Carga** não estiver em um relacionamento **Leva Carga** ou **Leva Tanque**, o valor será "Carga Armazenada" e ela deverá estar no CR **Armazena**.

2 Estação Ferroviária

A **Estação Ferroviária** dá origem a entidade agregada **Linha Férrea** através do seu auto-relacionamento N:N **Conecta**. Na solução proposta, a ordem de armazenamento das chaves dessa entidade agregada são importantes pois determinam o sentido da **Linha Férrea**. Assim, um relacionamento de A com B é diferente semanticamente de B com A, em que A e B são duas estações ferroviárias. A **Linha Férrea Possui N Obstáculo**, que é uma entidade fraca com chave fraca Nome. Uma possível vulnerabilidade seria a inserção de uma **Linha Férrea** que **Conecta** a **Estação Ferroviária** com ela mesma, e isso deve ser tratado à nível de aplicação.

Além disso, a **Linha Férrea** participa do conjunto de relacionamento N:N **Utiliza** com o CE **Trem**. Sendo que cada **Trem** é responsável por realizar apenas uma viagem. **Trem** também se relaciona com **Estação Ferroviária** através dos CR **Sai** e **Chega**, que definem a origem e o destino da viagem, respectivamente.

Uma outra abordagem, seguindo mais a risca a especificação, seria criar uma entidade **Viagem** fraca do **Trem** através de um relacionamento 1:1 **Faz**, com uma chave fraca Data de Saída, por exemplo. O ponto positivo da solução escolhida é uma maior simplicidade do banco de dados com uma tabela a menos que facilita futuras buscas. Quanto ao ponto negativo, essa modelagem não permite, por exemplo, que uma viagem demore para iniciar e seja inserida posteriormente ou seja cancelada antes da inserção no banco de dados e o **Trem** finalize sem realizar nenhuma viagem, gerando possíveis desperdícios de memória. Note, contudo, que esta deve ser uma situação rara no contexto do problema e portanto o trade-off vale a pena.

3 Análise de Ciclos

- Quaisquer ciclos que envolvam **Locomotiva Parada** e os CRs **Estaciona** e **Compõe** não são problemáticos uma vez que a locomotiva ou está compondo um **Trem**, ou está parada. Note que, sempre que a **Locomotiva** estiver compondo um **Trem**, o atributo derivado *Status Atual* será "Locomotiva em Trânsito" e não será possível existir um relacionamento **Estaciona**. Ou seja, não há redundância ou dependência.
- Quaisquer ciclos que envolvam **Vagão de Carga** e os CRs **Estaciona** e **Leva Carga** são semelhantes ao item anterior. Isto é, ou o **Vagão de Carga** está parado ou ele está conectado a um **Trem**. Quando ele estiver participando de **Leva Carga**, o atributo derivado *Status Atual* será "Vagão Conectado" e não será possível existir um relacionamento **Estaciona**. Ou seja, não há redundância ou dependência.
- Quaisquer ciclos que envolvam **Vagão de Tanque** e os CRs **Estaciona** e **Leva Tanque**. Idem para o item anterior.
- Quaisquer ciclos que envolvam **Carga Sólida** e os CRs **Leva Carga** e **Armazena** não são problemáticos pois não é possível a participação da **Carga Sólida** em **Armazena** e **Leva Carga** ao mesmo tempo, visto que **Carga Sólida** só pode ser

armazenada se o *Status Atual* não for "Carga em Trânsito" ou "Carga Entregue", que é sempre o caso quando ela participa de ***Leva Carga***. Nesta situação, não existe redundância ou dependência.

- Quaisquer ciclos que envolvam **Carga Não Sólida** e os CRs ***Leva Tanque*** e ***Armazena***. Idem para o item anterior.
- **Trem** → **Estação Ferroviária** → **Trem**: note que os CRs ***Saí*** e ***Chega*** representam semanticamente coisas distintas e, com o uso correto do usuário ou um tratamento à nível de aplicação, serão sempre distintos. Assim, não há redundância ou dependência, é um ciclo natural do problema.
- **Trem** → **Linha Férrea** → **Estação Ferroviária** → **Trem**: Novamente, os CRs ***Utiliza*** e ***Saí*** (ou ***Chega***) representam semanticamente coisas distintas. Não é possível calcular pelo relacionamento ***Utiliza*** o ponto de origem (ou de destino) da **Viagem** sem que hajam atributos adicionais. Assim, não há redundância ou dependência, também é um ciclo natural do problema.

4 O Modelo de Entidade-Relacionamento

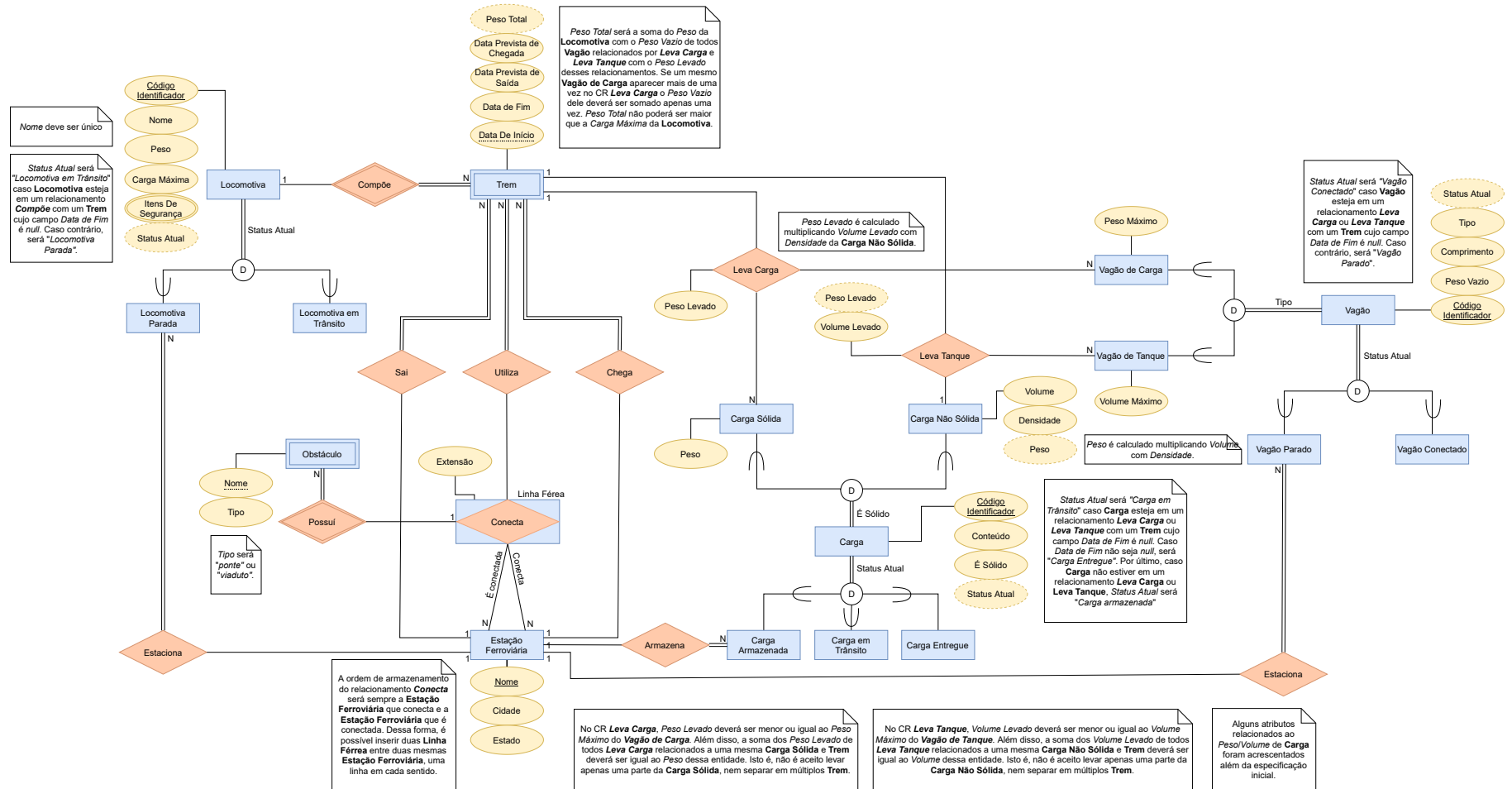


Figura 1: Modelo de Entidade-Relacionamento (MER-X)