

**PreventAI**  
Modelo de Entidades e Relacionamentos (MER)

## Entidades, Atributos e Tipos de Atributos

### ENTIDADE: SITE

Representa a planta industrial (local físico) onde estão linhas e máquinas.

Atributo	Tipo do Atributo	Card. Mínima	Card. Máxima
cd_site	Simples, determinante	1	1
nm_site	Simples	1	1
sg_pais	Simples	1	1
nm_cidade	Simples	1	1

Tabela 1: Entidade SITE e seus respectivos atributos, tipos e cardinalidade.

### ENTIDADE: LINHA\_PRODUCAO

Agrupa máquinas por linha/célula dentro de um site.

Atributo	Tipo do Atributo	Card. Mínima	Card. Máxima
cd_linha	Simples, determinante	1	1
nm_linha	Simples	1	1
cd_site	Simples, estrangeiro	1	1

Tabela 2: Entidade LINHA\_PRODUCAO e seus respectivos atributos, tipos e cardinalidade.

### ENTIDADE: MAQUINA

Equipamento monitorado pelo gêmeo digital (xDT).

Atributo	Tipo do Atributo	Card. Mínima	Card. Máxima
cd_maquina	Simples, determinante	1	1
nm_maquina	Simples	1	1
tp_maquina	Simples	1	1
nm_fabricante	Simples	0	1
nm_modelo	Simples	0	1
cd_linha	Simples, estrangeiro	1	1

Tabela 3: Entidade MAQUINA e seus respectivos atributos, tipos e cardinalidade.

### ENTIDADE: TIPO\_SENSOR

Catálogo de tipos/unidades e faixas operacionais.

Atributo	Tipo do Atributo	Card. Mínima	Card. Máxima
cd_tipo_sensor	Simples, determinante	1	1
ds_tipo	Simples	1	1
unidade	Simples	1	1
vl_min	Simples	0	1
vl_max	Simples	0	1

Tabela 4: Entidade TIPO\_SENSOR e seus respectivos atributos, tipos e cardinalidade.

## ENTIDADE: SENSOR

Dispositivo físico associado a uma máquina.

Atributo	Tipo do Atributo	Card. Mínima	Card. Máxima
cd_sensor	Simples, determinante	1	1
tp_sensor	Simples	1	1
nm_modelo	Simples	0	1
unidade	Simples	1	1
cd_tipo_sensor	Simples, estrangeiro	1	1
cd_maquina	Simples, estrangeiro	1	1

Tabela 5: Entidade SENSOR e seus respectivos atributos, tipos e cardinalidade.

## ENTIDADE: TOPICO\_MQTT

Tópicos de publicação/assinatura.

Atributo	Tipo do Atributo	Card. Mínima	Card. Máxima
cd_topico	Simples, determinante	1	1
nm_topico	Simples	1	1
ds_schema	Simples	0	1

Tabela 6: Entidade TOPICO\_MQTT e seus respectivos atributos, tipos e cardinalidade.

## ENTIDADE: MENSAGEM\_MQTT

Envelope técnico recebido/enviado no broker.

Atributo	Tipo do Atributo	Card. Mínima	Card. Máxima
cd_msg	Simples, determinante	1	1
cd_topico	Simples, estrangeiro	1	1
ts_evento	Simples	1	1
payload_json	Simples	1	1

Tabela 7: Entidade MENSAGEM\_MQTT e seus respectivos atributos, tipos e cardinalidade.

## ENTIDADE: LEITURA\_SENSOR

Snapshot relacional de séries temporais (espelho do InfluxDB).

Atributo	Tipo do Atributo	Card. Mínima	Card. Máxima
cd_leitura	Simples, determinante	1	1
cd_sensor	Simples, estrangeiro	1	1
ts_leitura	Simples	1	1
vl_medido	Simples	1	1
cd_msg	Simples, estrangeiro	0	1

Tabela 8: Entidade LEITURA\_SENSOR e seus respectivos atributos, tipos e cardinalidade.

## ENTIDADE: ANOMALIA

Eventos detectados (outlier, drift, padrão de falha).

Atributo	Tipo do Atributo	Card. Mínima	Card. Máxima
cd_anomalia	Simples, determinante	1	1
tp_anomalia	Simples	1	1
score	Simples	1	1
gravidade	Simples	1	1
cd_sensor	Simples, estrangeiro	1	1
ts_inicio	Simples	1	1
ts_fim	Simples	0	1

Tabela 9: Entidade ANOMALIA e seus respectivos atributos, tipos e cardinalidade.

## ENTIDADE: ORDEM\_MANUTENCAO

Integração ERP/MES/CMMS.

Atributo	Tipo do Atributo	Card. Mínima	Card. Máxima
cd_os	Simples, determinante	1	1
num_os_ext	Simples	0	1
tp_os	Simples	1	1
st_os	Simples	1	1
ts_abertura	Simples	1	1
ts_fechamento	Simples	0	1
cd_alerta	Simples, estrangeiro	0	1
cd_maquina	Simples, estrangeiro	1	1

## ENTIDADE: ACAO\_MANUTENCAO

Passos executados numa OS.

Atributo	Tipo do Atributo	Card. Mínima	Card. Máxima
cd_acao	Simples, determinante	1	1
cd_os	Simples, estrangeiro	1	1
ds_acao	Simples	1	1
responsavel_exec	Simples	0	1
ts_inicio	Simples	1	1
ts_fim	Simples	0	1
custo_real	Simples	0	1

## ENTIDADE: EVENTO\_PARADA

Downtime de máquinas.

Atributo	Tipo do Atributo	Card. Mínima	Card. Máxima
cd_parada	Simples, determinante	1	1
cd_maquina	Simples, estrangeiro	1	1
ts_inicio	Simples	1	1
ts_fim	Simples	1	1
motivo	Simples	0	1
duracao_min	Simples	1	1

## ENTIDADE: KPI\_OEE

Indicadores agregados por período.

Atributo	Tipo do Atributo	Card. Mínima	Card. Máxima
cd_kpi	Simples, determinante	1	1
cd_maquina	Simples, estrangeiro	1	1
dt_ref	Simples	1	1
disponibilidade	Simples	1	1
performance	Simples	1	1
qualidade	Simples	1	1
oee	Simples	1	1

Tabela 10: Entidade KPI\_OEE e seus respectivos atributos, tipos e cardinalidade.

## ENTIDADE: CUSTO\_EVIDADO

Registro financeiro de perdas evitadas (ROI em tempo real).

Atributo	Tipo do Atributo	Card. Mínima	Card. Máxima
cd_custo	Simples, determinante	1	1
cd_alerta	Simples, estrangeiro	0	1
cd_acao	Simples, estrangeiro	0	1
estimativa_valor	Simples	1	1
metodologia	Simples	1	1
moeda	Simples	1	1
ts_registro	Simples	1	1

Tabela 11: Entidade CUSTO\_EVIDADO e seus respectivos atributos, tipos e cardinalidade.

## ENTIDADE: USUARIO

Usuários/operadores para uso e gamificação.

## ENTIDADE: GAMIFICACAO\_EVENTO

Pontuação e recompensas por ações.

Atributo	Tipo do Atributo	Card. Mínima	Card. Máxima
cd_usuario	Simples, determinante	1	1
nm_usuario	Simples	1	1
perfil	Simples	1	1
email	Simples	1	1

Tabela 12: Entidade USUARIO e seus respectivos atributos, tipos e cardinalidade.

Atributo	Tipo do Atributo	Card. Mínima	Card. Máxima
cd_evento_gam	Simples, determinante	1	1
cd_usuario	Simples, estrangeiro	1	1
tp_evento	Simples	1	1
pontos	Simples	1	1
ts_evento	Simples	1	1
cd_alerta	Simples, estrangeiro	0	1

Tabela 13: Entidade GAMIFICACAO\_EVENTO e seus respectivos atributos, tipos e cardinalidade.

## ENTIDADE: GEMEO\_DIGITAL\_MODELO

Versões do modelo físico-informado/simulação (xDT).

Atributo	Tipo do Atributo	Card. Mínima	Card. Máxima
cd_modelo	Simples, determinante	1	1
versao	Simples	1	1
tp_modelo	Simples	1	1
ds_hiperparam	Simples	0	1

Tabela 14: Entidade GEMEO\_DIGITAL\_MODELO e seus respectivos atributos, tipos e cardinalidade.

## ENTIDADE: CENARIO\_SIMULACAO

Cenários what-if executados no xDT.

Atributo	Tipo do Atributo	Card. Mínima	Card. Máxima
cd_cenario	Simples, determinante	1	1
cd_modelo	Simples, estrangeiro	1	1
cd_maquina	Simples, estrangeiro	1	1
nm_cenario	Simples	1	1
parametros_json	Simples	1	1
ts_execucao	Simples	1	1
resultado_json	Simples	1	1

Tabela 15: Entidade CENARIO\_SIMULACAO e seus respectivos atributos, tipos e cardinalidade.

## ENTIDADE: POLITICA\_RL

Políticas de aprendizado por reforço.

Atributo	Tipo do Atributo	Card. Mínima	Card. Máxima
cd_politica	Simples, determinante	1	1
algoritmo	Simples	1	1
versao	Simples	1	1
recompensa_media	Simples	0	1
cd_modelo	Simples, estrangeiro	1	1
st_implantada	Simples	1	1

Tabela 16: Entidade POLITICA\_RL e seus respectivos atributos, tipos e cardinalidade.

## ENTIDADE: DATASET

Conjuntos de dados usados em ML/IA generativa.

Atributo	Tipo do Atributo	Card. Mínima	Card. Máxima
cd_dataset	Simples, determinante	1	1
nm_dataset	Simples	1	1
fonte	Simples	1	1
num_registros	Simples	0	1
caminho_arquivo	Simples	1	1

Tabela 17: Entidade DATASET e seus respectivos atributos, tipos e cardinalidade.

## ENTIDADE: TREINO\_MODEL

Rastreamento de experimentos/artefatos de ML.

Atributo	Tipo do Atributo	Card. Mínima	Card. Máxima
cd_treino	Simples, determinante	1	1
cd_dataset	Simples, estrangeiro	1	1
tp_problema	Simples	1	1
algoritmo	Simples	1	1
metricas_json	Simples	1	1
artefato_uri	Simples	1	1

Tabela 18: Entidade TREINO\_MODEL e seus respectivos atributos, tipos e cardinalidade.

## Relacionamentos

### SITE — LINHA\_PRODUCAO

Uma site possui várias linhas; cada linha pertence a um site.

Entidade	Card. Mínima	Card. Máxima
SITE	1	N
LINHA_PRODUCAO	1	1

### LINHA\_PRODUCAO — MAQUINA

Uma linha tem várias máquinas; cada máquina pertence a uma linha.

Entidade	Card. Mínima	Card. Máxima
LINHA_PRODUCAO	1	N
MAQUINA	1	1

### MAQUINA — SENSOR

Uma máquina pode ter muitos sensores; cada sensor pertence a uma máquina.

Entidade	Card. Mínima	Card. Máxima
MAQUINA	1	N
SENSOR	1	1

### TIPO\_SENSOR — SENSOR

Um tipo cataloga muitos sensores; cada sensor referencia um tipo.

Entidade	Card. Mínima	Card. Máxima
TIPO_SENSOR	1	N
SENSOR	1	1

### TOPICO\_MQTT — MENSAGEM\_MQTT

Um tópico recebe muitas mensagens; cada mensagem pertence a um tópico.

Entidade	Card. Mínima	Card. Máxima
TOPICO_MQTT	1	N
MENSAGEM_MQTT	1	1

### MENSAGEM\_MQTT — LEITURA\_SENSOR

Uma mensagem pode conter múltiplas leituras; cada leitura pode referenciar a mensagem de origem.

Entidade	Card. Mínima	Card. Máxima
MENSAGEM_MQTT	0	N
LEITURA_SENSOR	0	1

## SENSOR — LEITURA\_SENSOR

Um sensor gera muitas leituras; cada leitura é de um sensor.

Entidade	Card. Mínima	Card. Máxima
SENSOR	1	N
LEITURA_SENSOR	1	1

## SENSOR — ANOMALIA

Um sensor pode originar várias anomalias; cada anomalia é detectada em um sensor.

Entidade	Card. Mínima	Card. Máxima
SENSOR	1	N
ANOMALIA	1	1

## ANOMALIA — ALERTA

Uma anomalia pode disparar múltiplos alertas; cada alerta referencia uma anomalia.

Entidade	Card. Mínima	Card. Máxima
ANOMALIA	1	N
ALERTA	1	1

## ALERTA — ORDEM\_MANUTENCAO

Um alerta pode (ou não) abrir uma OS; uma OS geralmente se origina de 1 alerta.

Entidade	Card. Mínima	Card. Máxima
ALERTA	0	1
ORDEM_MANUTENCAO	1	1

## ORDEM\_MANUTENCAO — Acao\_MANUTENCAO

Uma OS possui várias ações; cada ação pertence a uma OS.

Entidade	Card. Mínima	Card. Máxima
ORDEM_MANUTENCAO	1	N
ACAO_MANUTENCAO	1	1

## MAQUINA — EVENTO\_PARADA

Uma máquina pode ter várias paradas; cada parada pertence a uma máquina.

Entidade	Card. Mínima	Card. Máxima
MAQUINA	1	N
EVENTO_PARADA	1	1



## MAQUINA — KPI\_OEE

Indicadores agregados por máquina/período.

Entidade	Card. Mínima	Card. Máxima
MAQUINA	1	N
KPI_OEE	1	1

## ALERTA — CUSTO\_EVIDADO

Custos evitados podem ser atribuídos ao alerta.

Entidade	Card. Mínima	Card. Máxima
ALERTA	0	N
CUSTO_EVIDADO	1	1

## ACAO\_MANUTENCAO — CUSTO\_EVIDADO

Custos evitados podem ser atribuídos à ação.

Entidade	Card. Mínima	Card. Máxima
ACAO_MANUTENCAO	0	N
CUSTO_EVIDADO	1	1

## USUARIO — GAMIFICACAO\_EVENTO

Um usuário recebe vários eventos/pontos; cada evento pertence a um usuário.

Entidade	Card. Mínima	Card. Máxima
USUARIO	1	N
GAMIFICACAO_EVENTO	1	1

## GEMEO\_DIGITAL\_MODELO — CENARIO\_SIMULACAO

Um modelo (versão) gera vários cenários; cada cenário referencia um modelo.

Entidade	Card. Mínima	Card. Máxima
GEMEO_DIGITAL_MODELO	1	N
CENARIO_SIMULACAO	1	1

## GEMEO\_DIGITAL\_MODELO — POLITICA\_RL

Uma política RL é treinada/associada a uma versão do xDT; várias políticas por modelo.

Entidade	Card. Mínima	Card. Máxima
GEMEO_DIGITAL_MODELO	1	N
POLITICA_RL	1	1

## MAQUINA — CENARIO\_SIMULACAO

Cenários what-if executados para uma máquina específica.

Entidade	Card. Mínima	Card. Máxima
MAQUINA	1	N
CENARIO_SIMULACAO	1	1

## DATASET — TREINO\_MODELO

Um dataset alimenta vários treinamentos; cada treino referencia um dataset.

Entidade	Card. Mínima	Card. Máxima
DATASET	1	N
TREINO_MODELO	1	1